

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
DESARROLLO DE UN PROTOTIPO HIDROMÉTRICO USANDO VASOS
COMUNICANTES EN LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD
DE PESILLO.**

**AUTORES:
LUIS MIGUEL JIMA SANMARTÍN
CARLOS ANDRÉS SANMARTÍN JIMÉNEZ**

**TUTORA:
LUISA FERNANDA SOTOMAYOR REINOSO**

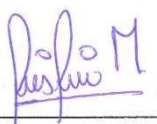
Quito, Febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Luis Miguel Jima Sanmartín con documento de identificación N° 110502081-0 y Carlos Andrés Sanmartín Jiménez con documento de identificación N° 171904575-7, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación: “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO HIDROMÉTRICO USANDO VASOS COMUNICANTES EN LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo de determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, Febrero del 2019



Luis Miguel Jima Sanmartín
CI: 110502081-0



Carlos Andrés Sanmartín Jiménez
CI: 171904575-7

CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO HIDROMÉTRICO USANDO VASOS COMUNICANTES EN LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO” realizado por Luis Miguel Jima Sanmartín y Carlos Andrés Sanmartín Jiménez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser consideradas como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019



Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso

1710953967

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Carmen Jiménez y Jorge Sanmartín por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi carrera estudiantil y los valores que me han sabido impartir dentro del hogar, agradezco a mis hermanos Jhoanna, Jorge y Jason quienes me inspiraron a ser una mejor persona tanto como profesional y humano, agradezco a mi tía Rosita y tío José por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, agradezco a mi compañera Katy y a mi hijo Leonel quienes han sido parte fundamental para la culminación de mis estudios, agradezco a Dios por poder contar con todas estas personas que me rodean y por nunca darme la espalda cuando lo he necesitado.

Carlos Andrés Sanmartín Jiménez

Agradezco a Dios por la salud y vida, por siempre ser mi ayuda en momentos de prueba y por todo lo bueno que hace y hará en mi vida, agradezco a mis padres Luis y Aura por su amor y apoyo incondicional, por su decisión y valores que hacen de mí un ser humano de bien. A mi hermano Jackson por su comprensión y ayuda en momentos difíciles, sin olvidar a mi novia Gaby la que con su perseverancia me aconsejó para seguir adelante y estar conmigo en las buenas y malas, agradezco a mis profesores por su gran labor en formar profesionales mi gratitud para ellos siempre.

Luis Miguel Jima Sanmartín

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana de Cayambe por el apoyo brindado durante la elaboración del mismo y a la comunidad de Pesillo por poder facilitar la zona para la implementación del prototipo hidrométrico, también quiero dedicárselo a las personas quienes conforman la carrera de Ingeniería Electrónica tanto ingenieros como ayudantes de laboratorios gracias por impartir sus conocimientos de la mejor manera, dedico este proyecto a mi madre e hijo pues son los que me impulsaron a culminar mis estudios para seguir adelante.

Carlos Andrés Sanmartín Jiménez

Dedico este proyecto de titulación a Dios por ser mi guía durante toda mi carrera universitaria, a mis padres por el apoyo brindado a lo largo de mi vida otorgándome valores y disciplina en las actividades realizadas, a mi hermano ayudándome moralmente en mi desempeño como estudiante, a mi novia por la ayuda que me brinda cada día para superarme académicamente. A todos ellos les dedico este proyecto esperando que sea un ejemplo en el futuro y sea de ayuda para los futuros ingenieros.

Luis Miguel Jima Sanmartín

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | I |
| CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| DEDICATORIA | IV |
| RESUMEN | IX |
| ABSTRACT | X |
| INTRODUCCIÓN | XI |
| CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES..... | :1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| 1.4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO..... | 2 |
| CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 3 |
| 2.1 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA..... | 3 |
| 2.2 ACEQUIA PUMAMAQUI..... | 3 |
| 2.3 VASOS COMUNICANTES | 4 |
| 2.4 MEDICIÓN DEL CAUDAL..... | 4 |
| 2.4.1 SENSOR MB7070 XL- MAXSONAR-WRA..... | 6 |
| 2.5 MEDICIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO(pH) | 7 |
| 2.5.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL PH..... | 8 |
| 2.5.2 SENSOR DE PHE-7352-15 | 9 |
| 2.6 MEDICIÓN DE TURBIDEZ | 10 |
| 2.6.1 SENSOR DE TURBIDEZ..... | 10 |
| 2.7 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE | 11 |
| 2.7.1 FERMUINO CP04B | 12 |
| 2.8 MICROCONTROLADORES | 13 |
| 2.8.1 MÓDULO ARDUINO ATMEGA 2560 | 13 |
| 2.8.2 MÓDULO GPRS SIM900 | 15 |
| 2.9 VERTEDEROS | 16 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 3; DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO | |
| HIDROMETRICO USANDO VASOS COMUNICANTES | 17 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 17 |
| 3.2 ELABORACIÓN DEL VERTEDERO..... | 19 |
| 3.2.1. UBICACIÓN DE LOS SENSORES..... | 20 |
| 3.2.2 CÁLCULO DEL CAUDAL..... | 21 |
| 3.2.3 CÁLCULO DE TURBIDEZ | 22 |
| 3.2.4 CÁLCULO PH..... | 23 |
| 3.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES ELECTRÓNICAS | 24 |
| 3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA ALIMENTACIÓN | 24 |
| 3.4 SOFTWARE Y PROGRAMACIÓN..... | 26 |
| 3.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CAUDAL..... | 27 |
| 3.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA TURBIDEZ | 28 |
| 3.4.3 DIAGRAMA DE FLUJO PH..... | 30 |
| 3.4.4 PAGINA WEB | 31 |
| 3.5 IMPLEMENTACIÓN..... | 31 |
| 3.6 CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO | 32 |
| 3.7 CONEXIÓN DEL HARDWARE..... | 32 |
| 3.7.1 CONEXIÓN ALIMENTACIÓN | 33 |
| 3.7.2 CONEXIÓN TRANSMISIÓN DE DATOS..... | 33 |
| 3.7.3 CONEXIÓN SENSOR TURBIDEZ..... | 34 |
| 3.7.4 CONEXIÓN SENSOR PH..... | 35 |
| 3.7.5 CONEXIÓN SENSOR ULTRASÓNICO..... | 36 |
| CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE DATOS..... | 37 |
| 4.1 MÉTODO DE VALIDACIÓN | 37 |
| 4.2 CALIBRACIÓN DE SENSORES | 37 |
| 4.2.1 MÓDULO PH/C° METER | 37 |
| 4.2.2 MÓDULO TUBIDÍMETRO HACH 2100Q..... | 38 |
| 4.2.3 MÉTODO DEL FLOTADOR | 38 |
| 4.2.4 CALIBRACIÓN Y ENSAMBLAJE FINAL | 39 |
| 4.3 PRUEBAS DE CAMPO..... | 39 |
| 4.4 CÁLCULO DE ERROR RELATIVO Y ERROR PROMEDIO..... | 40 |
| CONCLUSIONES | 43 |
| RECOMENDACIONES | 44 |
| REFERENCIAS..... | 45 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 UBICACIÓN DEL PROTOTIPO HIDROMÉTRICO..... | 3 |
| FIGURA 2.2 VASOS COMUNICANTES..... | 4 |
| FIGURA 2.3 TIPOS DE CAUDALIMETROS..... | 5 |
| FIGURA 2.4 SENSOR ULTRASÓNICO..... | 6 |
| FIGURA 2.5 ESCALA DE PH..... | 7 |
| FIGURA 2.6 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PH..... | 8 |
| FIGURA 2.7 SENSOR DE PH..... | 9 |
| FIGURA 2.8 SENSOR DE TURBIDEZ..... | 10 |
| FIGURA 2.9 PLC EOPUS..... | 12 |
| FIGURA 2.10 PARTES DEL ARDUINO ATMEGA. | 14 |
| FIGURA 2.11 MÓDULO SIM900..... | 15 |
| FIGURA 2.12 PARTES DE UN VERTEDERO..... | 16 |
| FIGURA 3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA..... | 17 |
| FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO..... | 18 |
| FIGURA 3.3 VISTA SUPERIOR DEL VERTEDERO RECTANGULAR..... | 19 |
| FIGURA 3.4 MEDIDAS DEL VERTEDERO RECTANGULAR..... | 20 |
| FIGURA 3.5. UBICACIÓN DE LOS SENSORES..... | 20 |
| FIGURA 3.6. RELACIÓN DE TURBIDEZ Y TEMPERATURA..... | 22 |
| FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE FLUJO CAUDAL..... | 28 |
| FIGURA 3.8 DIAGRAMA DE FLUJO DE TURBIDEZ..... | 29 |
| FIGURA 3.9. DIAGRAMA DE FLUJO PH..... | 30 |
| FIGURA 3.10 VISTA PÁGINA WEB..... | 31 |
| FIGURA 3.11. VISTA FRONTAL DEL VERTEDERO RECTANGULAR..... | 32 |
| FIGURA 3.12. DIAGRAMA DE ALIMENTACIÓN..... | 33 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 3.13. DIAGRAMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS..... | 34 |
| FIGURA 3.14. DIAGRAMA DE CONEXIÓN SENSOR DE TURBIDEZ..... | 35 |
| FIGURA 3.15. DIAGRAMA DE CONEXIÓN SENSOR DE PH. | 35 |
| FIGURA 3.16. DIAGRAMA DE CONEXIÓN SENSOR ULTRASÓNICO. | 36 |
| FIGURA 4.1. MÉTODO DEL FLOTADOR. | 38 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR ULTRASÓNICO..... | 7 |
| TABLA 2.2 CARACTERÍSTICA DEL SENSOR DE PH..... | 9 |
| TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS SENSOR DE TURBIDEZ..... | 11 |
| TABLA 2.4 DIFERENCIAS MICROCONTROLADORES Y MICROPROCESADOR.... | 13 |
| TABLA 2.5 CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO ATMEGA..... | 14 |
| TABLA 3.1. TOMA DE DATOS DE TIEMPO..... | 21 |
| TABLA 3.2. RELACIÓN TEMPERATURA Y PENDIENTE..... | 24 |
| TABLA 3.3 DIMENSIONAMIENTO ALIMENTACIÓN..... | 25 |
| TABLA 4.1. ESPEJO DE AGUA DEL CANAL..... | 39 |
| TABLA 4.2. MÓDULOS Y CAUDAL POR EL MÉTODO DEL FLOTADOR..... | 40 |
| TABLA 4.3. DATOS OBTENIDOS POR EL PROTOTIPO HIDROMÉTRICO..... | 40 |
| TABLA 4.4. DATOS DEL ERROR RELATIVO PORCENTUAL..... | 41 |
| TABLA 4.5. DATOS DEL ERROR PROMEDIO RELATIVO PORCENTUAL..... | 42 |

RESUMEN

Al norte de la provincia de Pichincha-Ecuador se encuentra ubicado el cantón Cayambe, el cual consta de varias comunidades dedicadas a la agronomía, una de ellas es Pesillo donde se ubica la acequia Pumamaqui perteneciente a la cuenca del río Pisque. Esta es usada para el riego de las parcelas aledañas y es por ello que los habitantes de la comunidad requieren comprobar la calidad del agua que circula por el canal, además de descartar las pérdidas causadas por la erosión, filtración o evaporación.

Para dar solución se construye un prototipo hidrométrico cuyas variables son: caudal, turbidez y pH. Cada una de estas son adquiridas por los sensores ubicados en los vasos comunicantes que se construyó y procesadas por un PLC, de esta manera los datos son enviados en unidades ingenieriles hacia una página web mediante el uso de un módulo GPRS. En cuanto a al sistema de alimentación este consta de un panel solar, una batería de 12 V y de reguladores de voltaje para los sensores de 5 V y el procesador 12 V.

Una vez finalizado e instalado el prototipo hidrométrico se realizan las pruebas necesarias para garantizar el envío de datos y de resultados, para ello se compara y valida cada dato mediante el uso de módulos.

ABSTRACT

To the north of the province of Pichincha-Ecuador is the canton Cayambe, which consists of several communities dedicated to the agronomy field, one of them called Pesillo. There is located the Pumamaqui ditch belonging to the Pisque river basin, which is used for the regiao of the surrounding plots, therefore the inhabitants of the community need to check the quality of the water that circulates through the canal, besides discarding the losses caused by erosion, filtration or evaporation.

For this, a hydrometric prototype is constructed where the analysis variables are: flow, turbidity and pH. Each one of these variables are acquired by the sensors located in the communicating vessels and processed by a PLC, in order to send the data in units engineers towards a web page through the use of a GSM module. As for the power system this consists of a solar panel, a 12 V battery and voltage regulators for the power supply of 5 V sensors and a 12 V processor.

Once the hydrometric prototype has been completed and installed, tests as necessary are carried out to guarantee data and results transmission, for which purpose each data is compared and verified using modules.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Politécnica Salesiana junto con la comunidad de Pesillo mediante los proyectos de vinculación, han desarrollado un prototipo hidrométrico en la acequia Pumamaqui para descartar las posibles causas de la mala calidad de pastizales tales como la evaporización, la erosión, la filtración y el robo del agua que circula por el canal. Se propone realizar un prototipo hidrométrico capaz de captar factores abióticos físicos del agua tales como el caudal y la turbidez y por otro lado los factores abióticos químicos en este caso el pH del agua. Para conseguir los objetivos planteados, el presente proyecto de titulación consta de cuatro capítulos haciendo referencia a la elaboración e instalación del prototipo hidrométrico tanto en el aspecto de hardware y software. A continuación se detalla que contiene cada capítulo:

El primer capítulo se encuentra la información relevante en cuanto al problema de estudio, la justificación y los objetivos que se piensan alcanzar mediante la elaboración del prototipo hidrométrico.

El segundo capítulo se describe toda aquella información en referencia al marco conceptual para la elaboración del prototipo hidrométrico tales como: antecedentes de la acequia, prototipos hidrométricos, variables de análisis turbidez, caudal y pH, dispositivos empleados y sus características.

El tercer capítulo hace referencia al diseño e implementación del prototipo hidrométrico se describe los planos del sistema, tanto de la parte de potencia como la parte de control, se realizan diagramas de flujo para obtener datos en unidades ingenieriles y la transmisión de datos hacia la interfaz web.

El cuarto capítulo se analiza los datos obtenidos y se verifican mediante pruebas de campo y de esta manera calibrar los sensores para así proceder a la comparación de datos con los métodos tradicionales, calculando su error.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los campos de siembra del Ecuador tienen varios problemas con lo que respecta al regadío de las parcelas agrícolas, las principales causas pueden ser dadas por evaporación, filtración, distribución y la calidad del agua.

En la comunidad de Pesillo los usuarios han tenido un bajo rendimiento agrícola afectando a la mayoría de sembríos de la zona.

El Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Centro de Apoyo Cayambe de la Universidad Politécnica Salesiana se ha visto en la necesidad de dar soporte técnico a los moradores de la comunidad, mediante el desarrollo de un prototipo de estación hidrométrica. Esta estación será encargada de la adquisición de datos consecutivos del nivel de pH, turbidez y caudal.

Los datos de caudales y de calidad de agua que se tiene actualmente de la acequia Pumamaqui de la comunidad de Pesillo son referenciales ya que no se tiene un registro histórico que ayude a tener claro la viabilidad de este recurso a nivel del año.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Mediante la implementación de un prototipo hidrométrico autómata remoto, se podrá recopilar datos de pH, turbidez y volumen de agua en tiempo real de la acequia Pumamaqui, estos datos ayudará a la junta a fortalecerse organizativamente y optar por acciones de amortiguamiento para enfrentar la época seca del año dando como resultado la distribución de agua a todos los usuarios de la comunidad de manera equitativa, conocer la calidad del agua permanentemente también es muy importante ya que se puede detectar el momento exacto de la contaminación y tomar acciones inmediatas y así evitar que los cultivos se contaminen y bajen su productividad.

La implementación del prototipo hidrométrico acumulará un historial de datos del caudal y la calidad del agua (turbidez y pH), permitiendo ahorrar tiempo en la toma de datos facilitando la distribución óptima del recurso para los usuarios de la comunidad, mediante el registro de datos se obtendrá información comportamiento del caudal y

calidad del agua permitiendo tecnificar las actividades agrícolas de la zona y fortalecer a la organización.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de Estación Hidrométrica automática remota mediante el uso de vasos comunicantes para la obtención de los datos de pH, turbidez y volumen de agua con transmisión de datos en la acequia Pumamaqui de la comunidad de Pesillo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las diferentes formas de medición de pH, turbidez y volumen de agua para cuantificar las variables en el prototipo hidrométrico.
- Diseñar la estación hidrométrica para la adquisición de datos de los sensores elegidos.
- Implementar la estación Hidrométrica para la medición de pH, turbidez y volumen de agua en la acequia Pumamaqui.
- Transmitir los datos por la red GPRS hacia la nube para visualizarlos de manera remota en un portal web.
- Comprobar los datos transmitidos con los existentes en la nube para validar la fiabilidad de la información.

1.4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El presente proyecto beneficiara a los habitantes de la comunidad de Pesillo que se dedican a la agronomía, permitiendo tecnificar el ahorro y calidad del agua. También beneficiara al Laboratorio de Sistema de Información geográfica del centro de apoyo Cayambe de la Universidad Politécnica Salesiana para futuros análisis que quieran llevar adelante en la zona.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

Las estaciones hidrométricas son sistemas inteligentes capaces de adquirir características del agua que circula por un canal o vertiente en un momento y tiempo determinado tales como: conductividad, temperatura, pH, turbidez o caudal entre otros. Son ubicadas en la sección más recta del canal con el fin de evitar la distorsión de la información. Estos datos son procesados, visualizados y almacenados con el fin de facilitar un análisis de la situación actual del agua que circula. (Rosillo, 2015)

2.2 ACEQUIA PUMAMAQUI

Ubicada en la parroquia de Olmedo en la comunidad de Pesillo, tiene una capacidad de 300 l/s y longitud aproximada de 165 Km, desembocando en los límites de Imbabura. Fue construida por los campesinos debido a la necesidad de riego que tiene en la zona desde hace unos 300 a 400 años, esta acequia es una derivación del río la Chimba que se encuentra en las faldas de las montañas aledañas a Pesillo. En la Figura 2.1 se visualiza la ubicación de la misma. (Pablo Maldonado, 2018)

Figura 2.1 *Ubicación del Prototipo Hidrométrico*

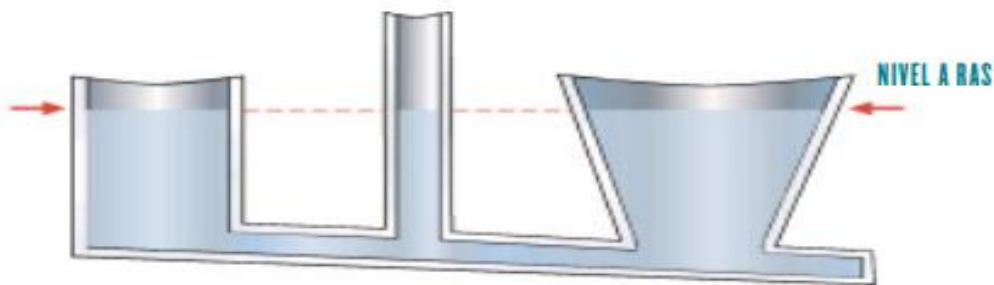


Fuente: Google Maps

2.3 VASOS COMUNICANTES

El físico matemático Galileo fue el que estableció los principios que definen el funcionamiento de los vasos comunicantes, menciona que si un líquido con las mismas características se encuentra ubicado dentro de diferentes recipientes conectados entre sí, la altura que estos alcanzan será la misma en todos sin importar la forma o el tamaño de los mismos. En caso que el líquido no sea homogéneo, el más denso llenara el tubo de comunicación y las alturas serán inversamente proporcionales a las densidades de los líquidos. La Figura 2.2 se visualiza el principio de vasos comunicantes. (Ariza, 2018)

Figura 2.2 *Vasos Comunicantes*



Fuente: (Ariza, 2018)

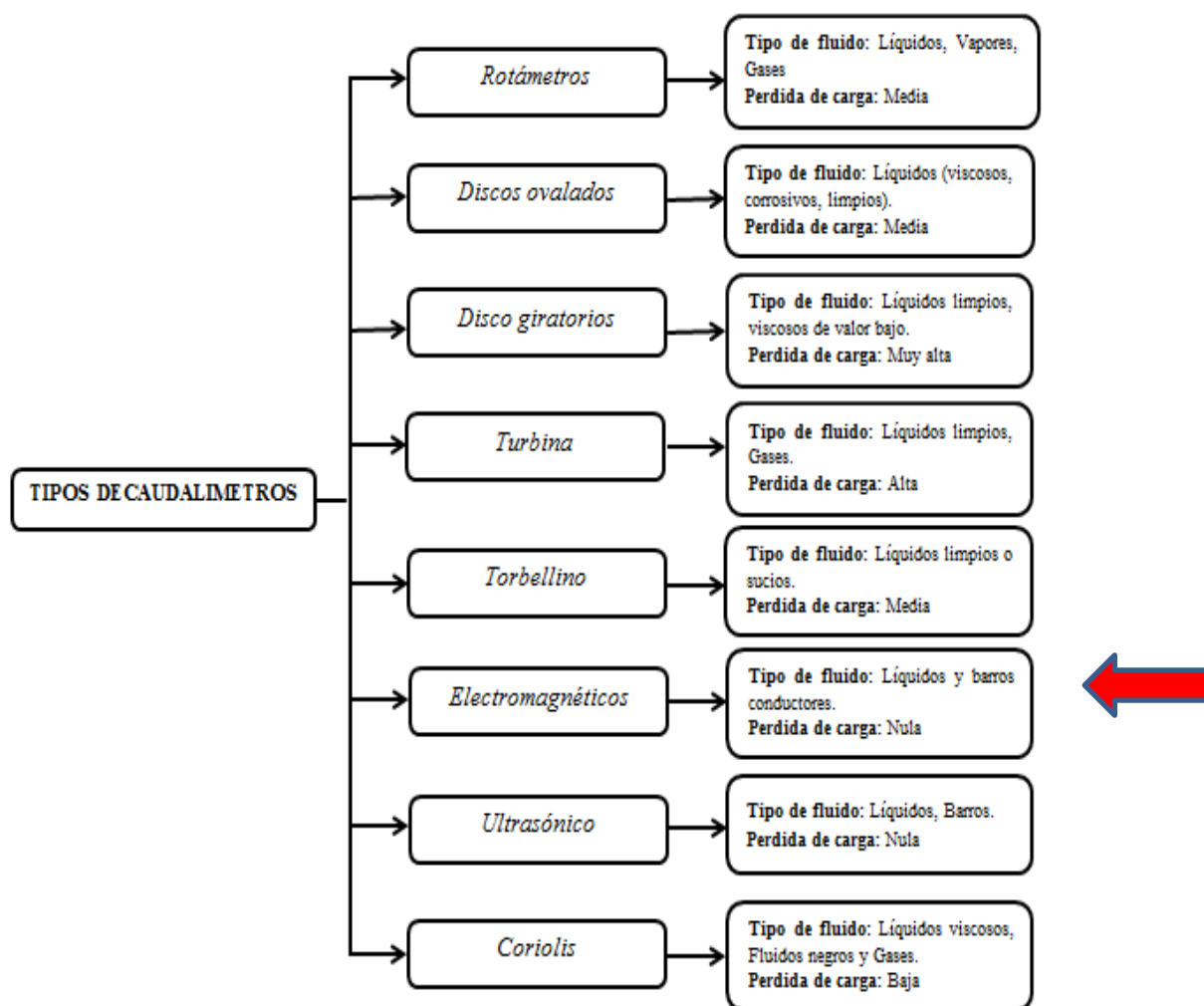
Este mecanismo forma parte de diferentes accionamientos hidráulicos, por ejemplo en las comunidades es utilizado para el suministro de agua hacia las viviendas ya que los depósitos de abastecimiento tienen que ser controlados, además son utilizados en sistemas como los sifones con el fin de trasvasar líquidos. (Ariza, 2018)

2.4 MEDICIÓN DEL CAUDAL

El caudal es definido como el volumen de agua que circula por una superficie en un tiempo determinado, este puede variar con el paso del tiempo provocando inundaciones o sequías. Esto puede afectar a los seres humanos en actividades como la agronomía, potabilización, recreación, etc. El paradigma del régimen hidrológico natural nos dice que a aquella variación es necesaria para mantener la integridad de los ecosistemas acuáticos. (Viveka Sabaj, 2014)

Existen diversos medidores de caudal los cuales permiten tener una mejor precisión, repetitividad y rango a cubrir. Para la selección de estos se tiene que tomar en cuenta el ambiente en donde se realiza la medición y el tipo de fluido que se desea medir. La velocidad de respuesta y su linealidad dependerá del tipo de sensor que se escoja. A continuación se puede visualizar en la Figura 2.3 la clasificación de estos. (CITeQ, 2018)

Figura 2.3 *Tipos de Caudalímetros*



Elaborado por: Carlos Sanmartín

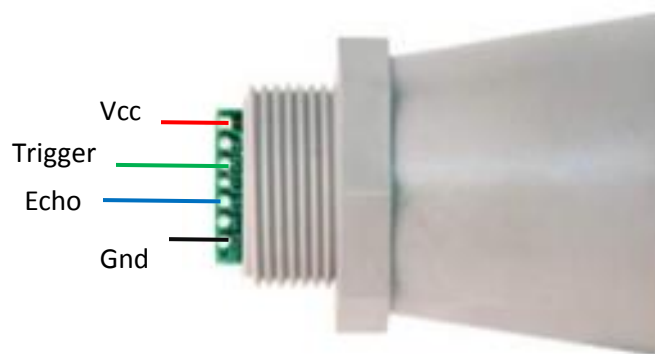
En el presente proyecto se ha utilizado un sensor de caudal de tipo ultrasónico no intrusivo ya que nos permite medir a través de cualquier material además de tener pérdidas de cargas nulas como se indica en la Figura 2.3.

Es necesario resaltar que el método de medición del caudal es en base al volumen de agua que circula en el canal de la acequia el cual se obtiene en base al principio de vasos comunicantes.

2.4.1 Sensor MB7070 XL- MaxSonar-WRA

XL MaxSonar-WRA es un sensor de tipo ultrasónico diseñado para exteriores gracias a su carcasa de PVC lo cual lo hace muy robusto, proporciona una detención de larga y corta distancia. Este cuenta con una protección IP67 contra el agua y el polvo. La salida del sensor es analógica para facilitar el procesamiento de la señal y tiene un rango máximo de 1000 cm. Su calibración es automática y en tiempo real. A continuación se lo puede observar en la Figura 2.4. (MaxBotix, 2017)

Figura 2.4 Sensor ultrasónico.



Fuente: (MaxBotix, 2017)

La selección del sensor viene dada por la facilidad que este brinda para el uso en condiciones climáticas extremas como las que se pueden llegar a presentar en el área de Pesillo-Cayambe. Además este sensor no se ve afectado por el color o alguna característica visual de algún objeto detectado entre el haz de luz y la superficie a medir, siempre y cuando el objeto no sea de un tamaño considerable. (MaxBotix, 2017)

A continuación se visualizan los datos técnicos en la Tabla 2.1 del sensor ultrasónico MaxSonar-WRA.

Tabla 2.1 *Características del sensor ultrasónico.*

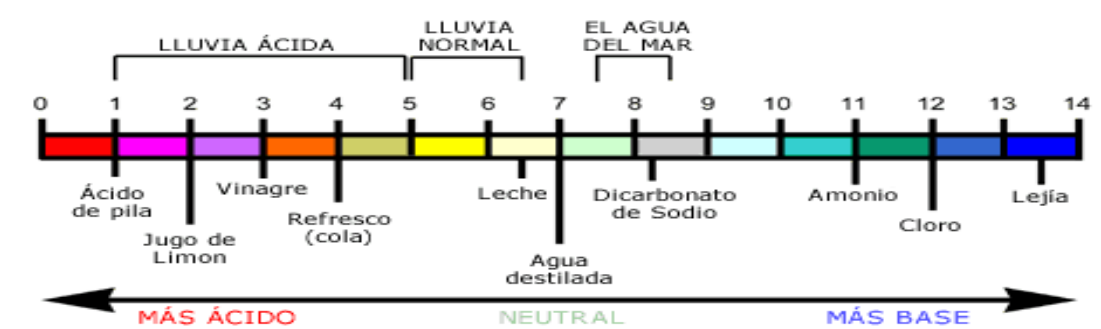
| Especificaciones técnicas. | MB7070 XL- MaxSonar-WRA |
|-------------------------------|-------------------------|
| Voltaje de operación | 3.0-5.5 V |
| Corriente mínima de operación | 3.4mA |
| Rango de medición | 0-1000cm |
| Método de salida | AS de luz Fino |
| Resolución | 1cm |
| Tiempo de lectura | 100ms |
| Temperatura de operación | -40° hasta los 70° |
| Protección | IP67 |
| Peso | 50 gramos |

Elaborado por: Luis Miguel Jima Fuente: (MaxBotix, 2017)

2.5 MEDICIÓN DEL POTENCIAL HIDROGENO(pH)

El pH o potencial de hidrogeno hace referencia a la medida de acidez o de alcalinidad de una sustancia liquida el cual indica lo concentración de iones de hidrógenos presentes. Su rango está basado en una escala logarítmica de 0 como ácido y 14 como alcalino. Respecto al agua esta puede ser muy acida o demasiado alcalina según la normativa usada para describirla como potable. En la Figura 2.5 se puede observar los valores de algunas sustancias acidas y básicas. (Vidarte, 2016)

Figura 2.5 *Escala de pH.*



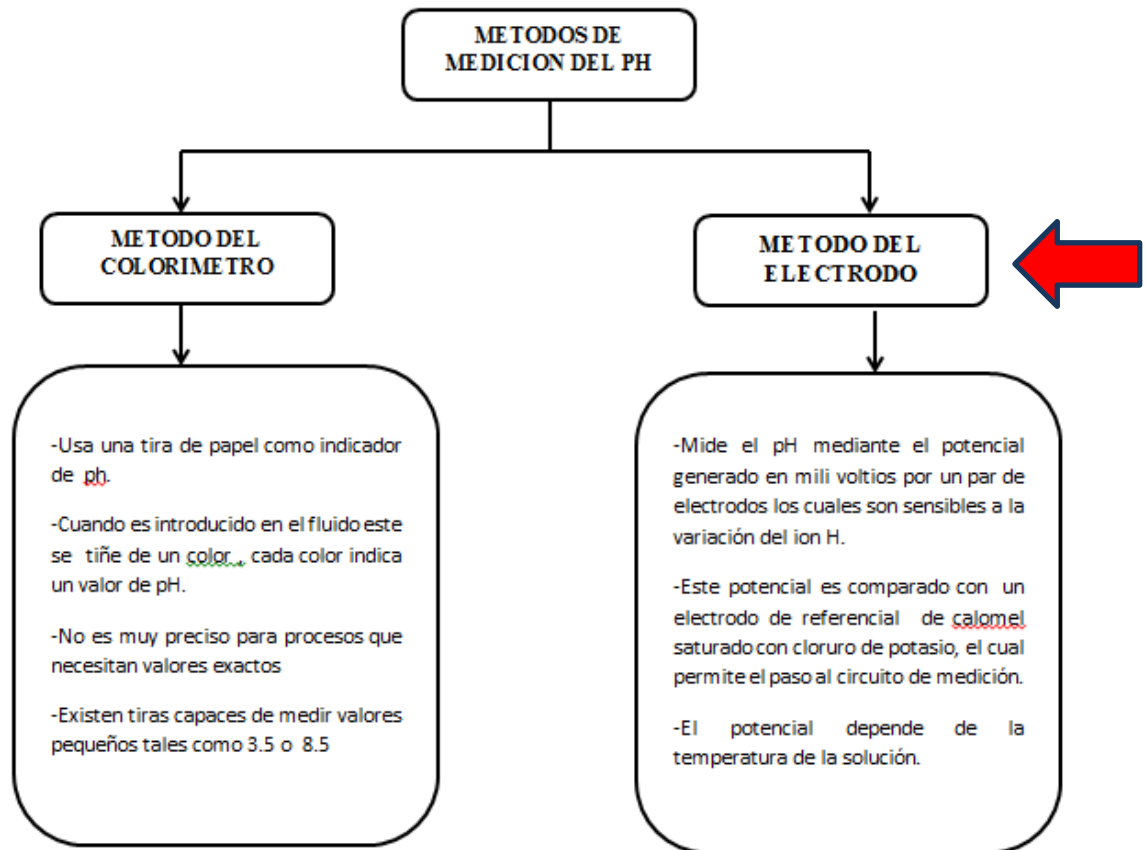
Fuente: (Patricio, 2011)

Como se observa en la Figura 2.5 se puede discernir entre una agua acida o básica según el grado de pH que esta tenga, de esta manera se lograra descartar si el agua que circula por la acequia Pumamaqui es apta para el riego de las parcelas de la comunidad de pesillo.

2.5.1 Métodos de medición del pH

Existen varios métodos para la medir el pH de cualquier fluido, los más conocidos son el método del colorímetro y el método potenciómetro o también llamado de electrodos. A continuación se puede observar en la Figura 2.6 en qué consisten cada uno de estos.

Figura 2.6 *Métodos de medición de pH.*



Elaborado por: Luis Miguel Jima

El sensor que se utiliza para la medición del pH en el prototipo hidrométrico usa el método de electrodos, ya que este permitirá obtener un dato muy exacto del pH circulante en la acequia Pumamaqui. A continuación se describe el sensor utilizado para el prototipo hidrométrico.

2.5.2 Sensor de PHE-7352-15

El PHE-7352-15 es un sensor de pH de cuerpo robusto el cual permite ser sumergido en aguas residuales. Su cuerpo es de PPS y tiene roscas PT MNPT delanteras y posteriores. Es resistente a las soluciones de envenenamiento de electrodos y metales pesados. Este contiene un electrodo de vidrio de embolo y junto con su cuerpo robusto garantiza un tiempo de vida útil largo. En la Figura 2.7 se puede observar el sensor mencionado con su cobertura y electrodo de vidrio.(Industrial pH Instrumentation & Electrodes)

Figura 2.7 Sensor de pH.



Elaborado por: (Industrial pH Instrumentation & Electrodes)

A continuación se describen algunas características del sensor antes mencionado en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Característica del sensor de pH.

| Especificaciones técnicas. | | pH/ORP-1110A/B |
|----------------------------|-----|---|
| Elemento de Prueba | | pH or ORP |
| Rango de Medición | pH | (2 ~ 12)ph |
| | ORP | ±1999mV |
| Temperatura | | (0 ~ 50)°C |
| Presión | | Normal debajo 0.4MPa , Máximo 0.6MPa (≤ 1h) |
| Dimensión | | Arreglado con ¾ NPT hilo cónico |
| Conexión | | Cables de bajo ruido directamente |
| Longitud de cable | | Estándar 10m (longitud límite ≤20m) |
| Nivel de Protección | | IP65 |

Elaborado por: Luis Miguel Jima.Fuente: (Industrial pH Instrumentation & Electrodes)

2.6 MEDICIÓN DE TURBIDEZ

La turbidez se considera como la falta de transparencia en el agua ocasionada por partículas en suspensión que se encuentran en ella. Se puede decir que la calidad el agua es inversamente proporcional a la turbidez que esta contiene. (Vidarte, 2016)

Entre las unidades más conocidas para la medición de turbidez se encuentra la unidad nefelometría de turbidez (NTU) y también la unidad de partes por millón (ppm). (Vidarte, 2016)

2.6.1 Sensor de Turbidez

Este sensor es importante debido a que permite detectar la concentración de solidos suspendidos en el agua, parámetro clave para discernir entre la potabilidad del agua. El sensor seleccionado es el SEN0189 el cual permite medir la turbidez al medir la transmisión y la dispersión de la luz emitida, este lo logra gracias a un fotodiodo. (Vidarte, 2016)

Este sensor cuenta con dos modos de operación digital o analógico, para el modo de operación digital se puede ajustar el umbral para poder discriminar cuando es lo suficientemente turbia. A continuación se puede visualizar en la Figura 2.8.

Figura 2.8 Sensor *de turbidez SEN0189*



Fuente: (Vidarte, 2016)

A continuación se describe las características técnicas del sensor de turbidez utilizado para el presente proyecto

Tabla 2.3 *Características sensor de turbidez.*

| Especificación Técnica | SEN0189 |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Voltaje de operación | 5 V dc |
| Corriente | 40 mA(MAX) |
| Tiempo de respuesta | <500ms |
| Método de salida | Análogo |
| Salida análoga | 0-4.5 V |
| Salida digital | High/Low (se ajusta el umbral) |
| Temperatura de operación | 5°~90 ° |
| Temperatura de almacenamiento | -10°~90° |
| Peso | 30g. |

Elaborado por: Carlos Sanmartín.Fuente: (Vidarte, 2016)

2.7 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

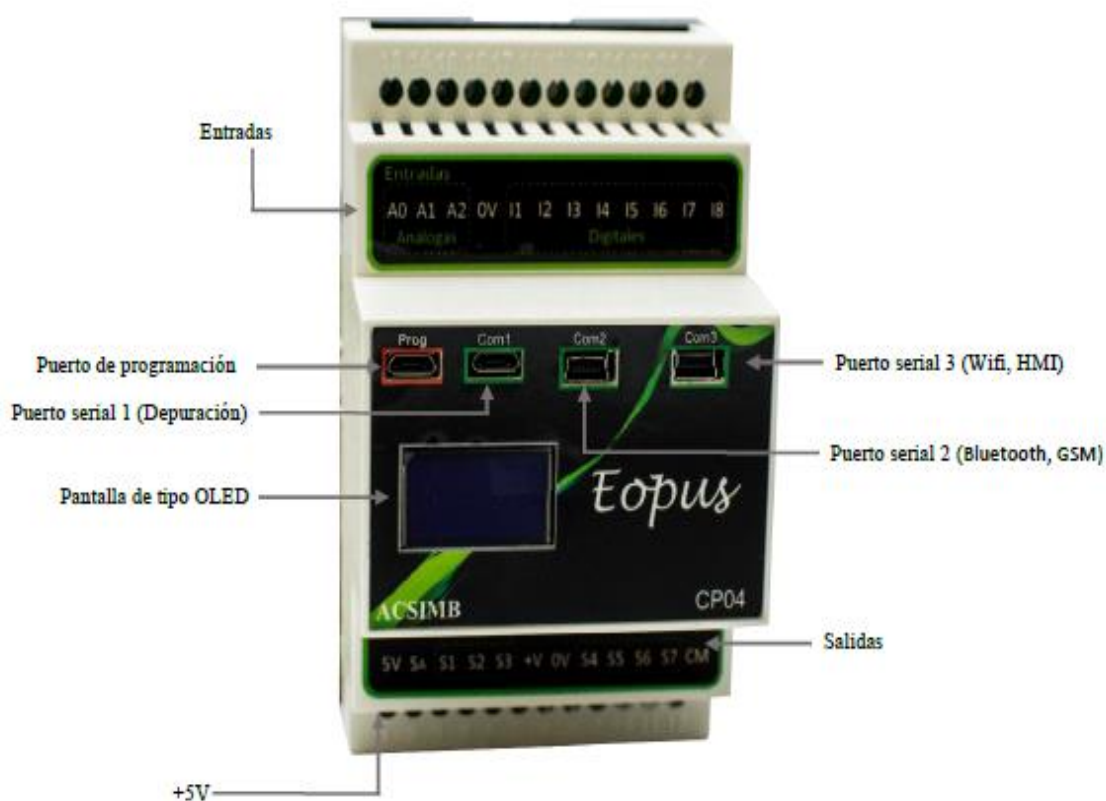
Conocidos por sus siglas en inglés (PLC) consisten en un sistema de control industrial, el cual consta de un computador capaz de tomar decisiones que han sido previamente programadas. Los controladores trabajan en tiempo real de manera secuencial. La programación es realizada en base a las funciones lógicas tales como: series, paralelos, temporizadores, conteo, etc. Los PLC's están constituidos por puertos de entradas y salidas a los que se puede acoplar diferentes actuadores o sensores. Al utilizar un Controlador lógico programable los tiempos de trabajo se ven reducidos debido que permiten satisfacer las exigencias de procesos continuos y discontinuos.(Martínez, 2015)

En el presente proyecto se ha seleccionado la marca EOpus que es originaria del Ecuador. Este es desarrollado por la empresa ACSIMB ubicada en Ambato, la cual lleva 4 años con el desarrollo de controladores lógicos programables con software abierto.

2.7.1 FERMUINO CP04B

Este módulo es un controlador lógico programable de marca Eopus el cual permite trabajar a 12 V dc, es muy versátil para la implementación de procesos industriales y varias aplicaciones tecnológicas. La programación es de código abierto como arduino y su entorno. Este contiene una pantalla OLED que permite desplegar mensajes, valores y alarmas. Entre sus características se puede destacar los tres puertos seriales digitales, los cuales permiten conectar los módulos especiales de la marca como el Wifi y GSM, permitiendo tener la supervisión en tiempo real para el desarrollo de aplicaciones móviles. A continuación en la Figura 2.9 se puede visualizar el módulo descrito. (ACSIMB)

Figura 2.9 PLC Eopus



Elaborado por: (ACSIMB)

2.8 MICROCONTROLADORES

Son dispositivos de bajo costo los cuales permiten realizar diseños electrónicos imitando a los computadores grandes, esto gracias a millones de transistores que se encuentran dentro de estos. Un microcontrolador es muy diferente a un microprocesador una de las características más importantes es su funcionalidad. Por una parte al microprocesador se le añaden componentes como memorias o elementos para enviar o recibir datos, por el otro lado el microcontrolador es diseñado para que tenga todo en uno, no necesita de componentes periféricos. A continuación se puede observar la Tabla 2.4 donde se visualizan las diferencias entre estos. (CEKIT S.A, 2016)

Tabla 2.4 *Diferencias entre microcontroladores y microprocesador*

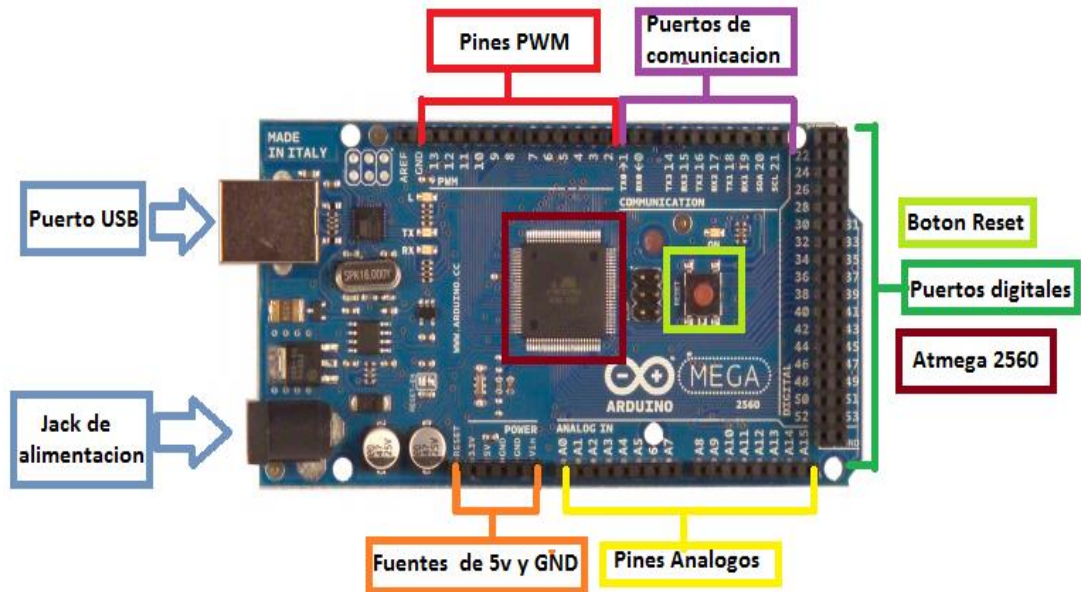
| DIFERENCIAS | |
|---|---|
| MICROCONTROLADOR | MICROPROCESADOR |
| Arquitectura Harvad. | Arquitectura Von Newman. |
| Tiempo de elaboración de proyectos menor. | Tiempo de elaboración de proyectos mayor. |
| Ahorro de instrucciones | Instrucciones extensas |
| Registro de trabajo working y acumulador. | Carece de registros de trabajo. |
| Incluye todos los elementos del micro procesador en un solo circuito. | Configuración mínima por un pic de 40 pines memoria RAM, ROM y decodificador. |

Elaborado por: Luis Miguel Jima

2.8.1 MÓDULO ARDUINO ATMEGA 2560

En el presente proyecto se ha seleccionado un microcontrolador basado en el ATMEGA2560, el cual consta de 54 pines digitales que pueden ser utilizados como entrada o salida. Este módulo contiene todo lo necesario para desarrollar aplicaciones de índole industrial. Puede operar con una fuente externa de 6 V o 20 V .Su memoria flash es de 256 KB para almacenar el código y 8 KB de SRAM. EL arduino mega brinda una gran facilidad para realizar comunicación con otros dispositivos arduino o microcontroladores dado que este contiene cuatro puertos seriales para la comunicación. A continuación se puede observar el la Figura 2.10 un esquema de lo que contiene el modulo antes mencionado. (RobotShop, 2018)

Figura 2.10 Partes del arduino atmega.



Elaborado por: Luis Miguel Jima

En cuanto a las características técnicas del módulo arduino atmega 2560 se puede destacar las siguientes como se observa en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Características del arduino atmega 2560.

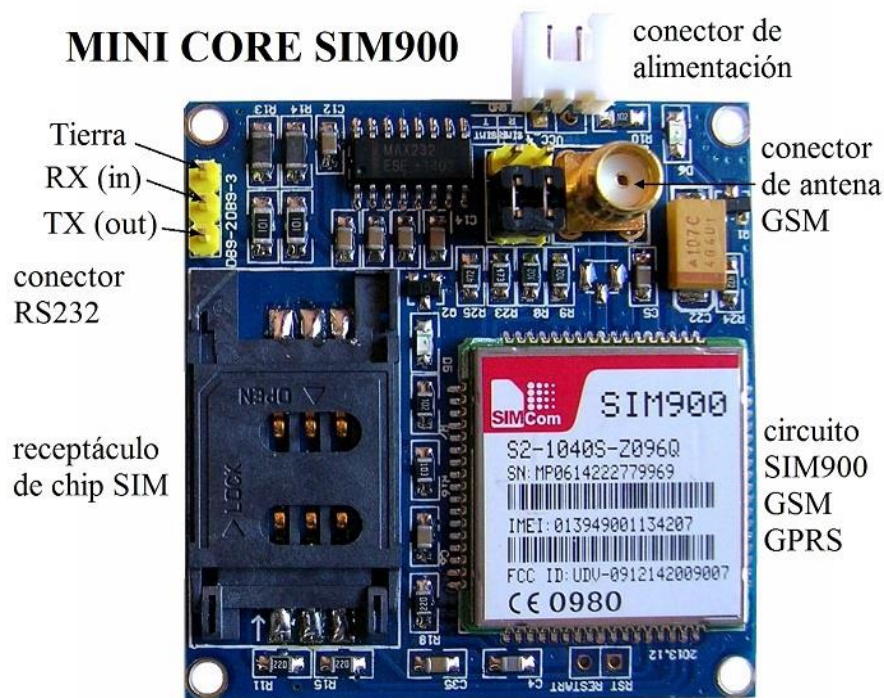
| Microcontrolador | Atmega2560 |
|--------------------------------|---------------------|
| Voltaje de operación | 5 V dc |
| Salida de Voltaje(recomendada) | 7-12 V |
| Digitales E/S | 54 (14 salidas PWM) |
| Salida análogas | 16 |
| Memoria flash | 256 kB |
| SRAM | 8 kB |
| EEPROM | 4K |
| Velocidad e reloj | 16 MHz |
| Corriente E/S | 40 mA |

Elaborado por: Carlos Sanmartín Fuente: (RobotShop, 2018)

2.8.2 MÓDULO GPRS SIM900

El módulo GPRS Sim 900 permite trabajar con 4 bandas (850, 900, 1800, 1900 MHz) es utilizado para la elaboración de proyectos en los cuales es necesario el envío de datos ya sea por internet o la red móvil mediante SMS. Está conformado por el chip Sim 900 el cual integra en su firmware el stack TCP-IP, de manera que permite la comunicación con un servidor de internet. Su voltaje de alimentación se encuentra entre los rangos de 3.2 a 4.8 V y un consumo de corriente de 22 mA y con elevaciones de hasta 2 A cuando este comienza a transmitir. A continuación en la Figura 2.11 se visualiza el módulo con las partes que lo conforman. (PuntoFlotante, 2019)

Figura 2.11 Módulo Sim900



Elaborado por: (PuntoFlotante, 2019)

La red móvil seleccionada es CNT dado que este tiene mayor cobertura en la zona donde se implementara el prototipo hidrométrico.

2.9 VERTEDEROS

Se conoce como vertedero, a un dispositivo hidráulico que contiene una escotadura, por la cual se hace circular el caudal que se desea conocer. También es definido como la abertura de contorno abierto de una barrera ubicada en un canal o río, por la cual circula el líquido contenido de forma libre. Sus finalidades pueden ser las siguientes.

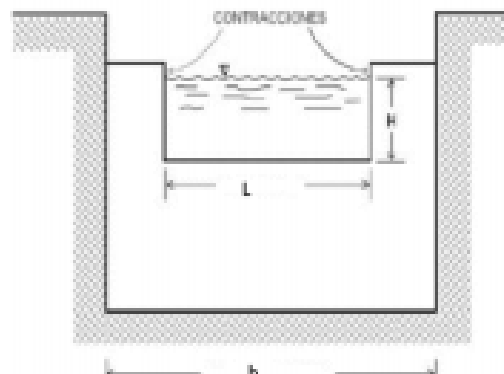
- Controlar el nivel del caudal en canales.
- Medición del caudal
- Evacuador de volúmenes en embalses o tanques.

Un vertedero normalmente consta de las siguientes partes.

- Cresta(L): Borde superior del vertedero
- Umbral(P): Medida desde el fondo del canal hasta la cresta
- Carga (H): Diferencia entre cota de superficie libre y cresta
- Ancho del canal(b): Ancho del canal aproximado
- Contracciones: Caras verticales de la cresta

A continuación en la Figura 2.12 se visualiza las partes antes mencionadas.

Figura 2.12 *Partes de un vertedero*



Elaborado por: (Sanchez, 2017)

Los vertederos se pueden clasificar por su geometría en tres tipos triangulares, trapezoidales y rectangulares. En el presente proyecto se procederá a realizar un vertedero rectangular suprimido estándar, debido a que su contracción será total es decir sus paredes estarán situadas en los extremos para conseguir un flujo constante y estable. (Sanchez, 2017)

CAPÍTULO 3

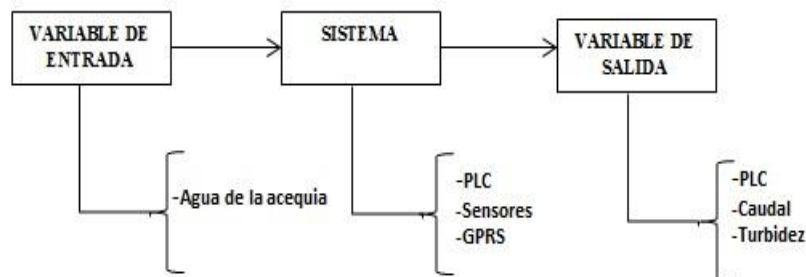
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO HIDROMETRICO USANDO VASOS COMUNICANTES

En este apartado se detalla el diseño e implementación del prototipo hidrométrico tanto a nivel de software como de hardware, teniendo en consideración las variables de análisis y las condiciones en que estas son adquiridas por el procesador. A continuación se presenta el proceso de elaboración tanto para la selección de sensores, procesador, además del dimensionamiento para la alimentación del sistema y la descripción de la programación para la obtención de los datos en unidad ingenieriles en el caso del caudal y turbidez.

3.1 Descripción del Proceso

Para describir el proceso de manera idónea se comienza identificando las acciones externas o variables de entrada que el sistema dinámico adquirirá mediante los sensores que se encuentran acoplados al PLC dando como respuesta las variables de salida. En el presente proyecto el sistema está conformado por un controlador lógico programable encargado de procesar diferentes características del *agua* (variable de entrada) y como resultado de esto se obtendrá la cuantificación de estas características tales como el pH, turbidez y caudal (variables de salida). En la Figura 3.1 se puede observar la representación del sistema mencionado.

Figura 3.1 Descripción del Sistema



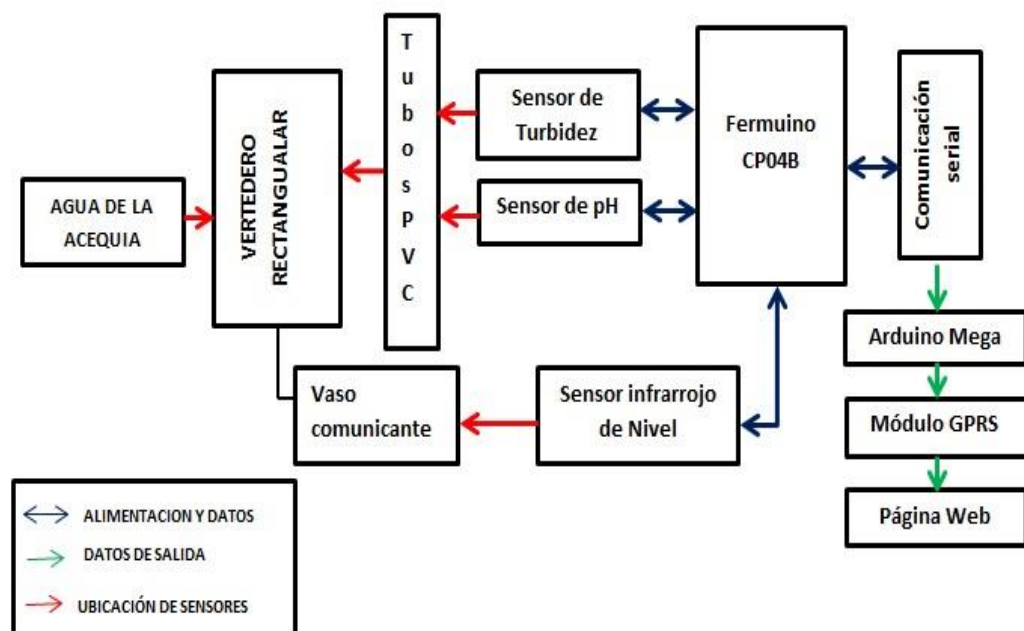
Entrada y salidas del sistema, Elaborado por: Carlos Sanmartín

EL proceso inicia mediante el ingreso del agua al vertedero de tipo rectangular el cual da paso a la estabilización del agua a una velocidad promedio que será calculada por

un método tradicional. Una vez el agua se estabiliza esta entra a un juego de tubos de PVC donde se ubicaran los sensores de turbidez y pH. Al mismo tiempo el sensor ultrasónico servirá para el cálculo del caudal de la acequia y estará ubicado en un vaso comunicante para obtener el nivel del agua en la acequia. Una vez el procesador adquiera las señales de los sensores estos datos serán interpretados en valores de voltaje y mediante la programación serán transformados en unidades ingenieriles respectivas según sea la variable de análisis.

Una vez realizado la toma de datos se procede al envío hacia la página web para que estos pueda ser visualizados mediante el uso del módulo GPRS. A continuación en la Figura 3.2 se puede observar el diagrama del funcionamiento del sistema.

Figura 3.2 Diagrama de funcionamiento del prototipo hidrométrico.



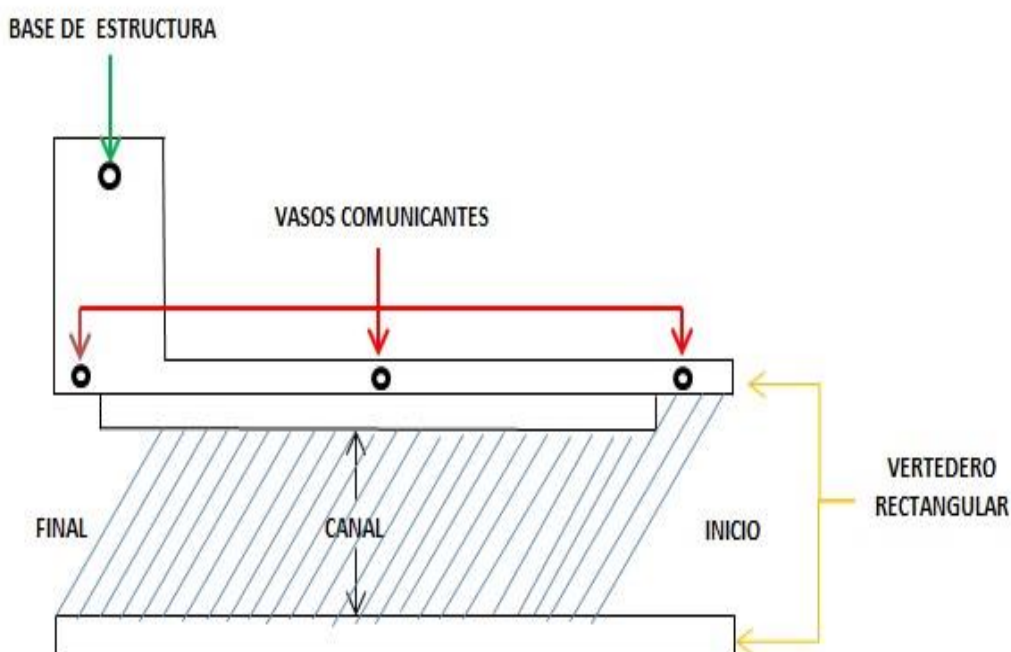
Descripción del proceso para la adquisición de datos de caudal, pH y turbidez.

Elaborado por: Carlos Sanmartín

3.2 Elaboración del vertedero

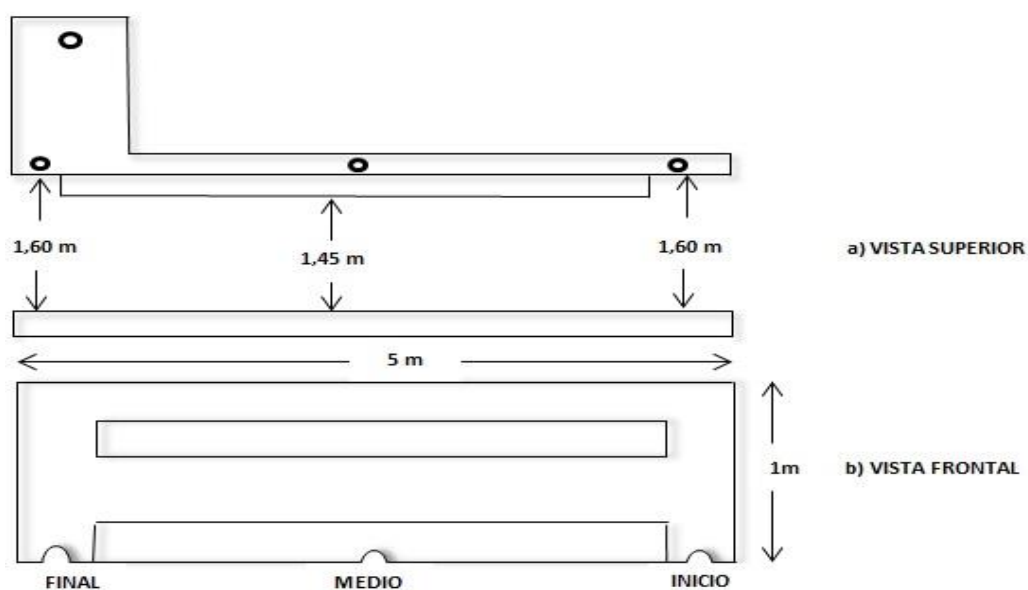
Debido a que el terreno en donde se realizara el prototipo hidrométrico existen varios tipos de elevaciones, se plantea realizar un vertedero de tipo rectangular el cual permita estabilizar el nivel de agua para de esta manera por medio del método de los vasos comunicantes obtener el nivel existen en la acequia. Los vasos comunicantes serán ubicados en tres diferentes posiciones las cuales serán al inicio, medio y final tal como se puede observar en la Figura 3.3 de esta manera se procederá a realizar las pruebas de fiabilidad de los datos. Respecto a la toma de medidas del vertedero rectangular se considera el ancho, alto y largo del canal, las cuales se pueden visualizar en la Figura 3.4, el largo es establecido en relación al caudal circundante promedio medido de manera manual el cual es 300 a 200 m³/s mientras que la medidas de ancho y alto se lo obtiene con el uso de un flexómetro.

Figura3.3 Vista superior del vertedero rectangular.



Ubicación vasos comunicantes inicio, medio y final. Elaborado por: Carlos Sanmartín

Figura 3.4 *Medidas del vertedero rectangular.*

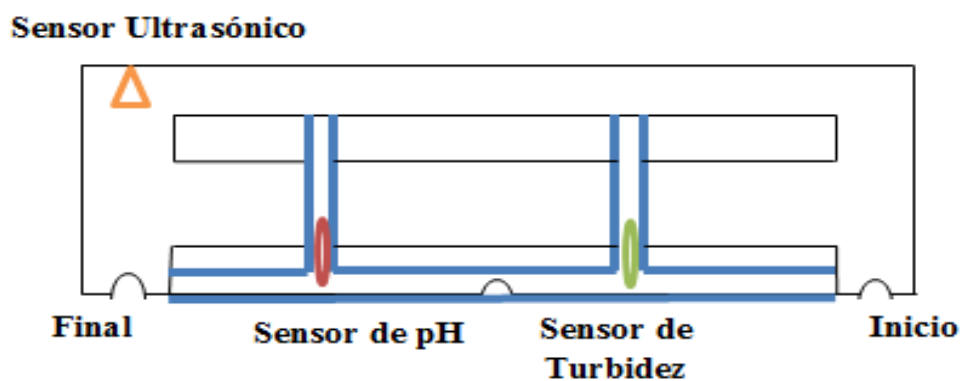


a) Medidas de ancho = 1,60 m y largo = 5 m b) Medida de alto = 1 m y ubicaciones de los vasos. Elaborado por: Carlos Sanmartín

3.2.1. Ubicación de los sensores

Una vez sea realizado los vasos comunicantes se procede a la ubicación del sensor ultrasónico al final del vertedero, ya que en esta posición el flujo del agua es más estable. Con respecto a los sensores de turbidez y pH estos serán ubicados en un juego de tubos PVC fijado a dos columnas horizontales tal como muestra la Figura 3.5. De esta manera se los protegerá contra posibles problemas como la subida de nivel del agua, corrosión, cortos circuitos entre otros.

Figura 3.5. *Ubicación de los Sensores*



Sensor ultrasónico naranja, sensor pH rojo, sensor turbidez verde. Elaborado por: Carlos Sanmartín

3.2.2 Cálculo del Caudal

La medición del caudal consiste en obtener el volumen de agua que circula en un vertedero o tubería en un tiempo determinado, para ello se obtendrá el dato de área y de velocidad con la cual circula. Por medio de los vasos comunicantes y el sensor ultrasónico se logra obtener el espejo de agua de la acequia (dato de la altura) y el dato de la base será igual al del vertedero construido. Por otra parte, el dato de velocidad es obtenido por un método tradicional, que consiste en hacer varias mediciones de tiempo de un objeto que circule en una distancia conocida dentro del canal. A continuación en la Tabla 3.1 se visualizan la toma de tiempos realizada para el cálculo de la velocidad.

Tabla 3.1. Toma de datos de tiempo.

| | Tiempos [s] | | | | Promedio[s] |
|-------|-------------|------|------|------|-------------|
| Dia 1 | 4,18 | 4,57 | 4,73 | 4,18 | 4,41 |
| Dia 2 | 5,56 | 5,61 | 6,07 | 6,31 | 5,88 |
| Dia3 | 6,50 | 6,66 | 6,81 | 6,59 | 6,64 |
| | | | | | 5,64 |

Valor de tiempo promedio obtenido mediante método tradicional. Realizado por: Carlos Sanmartín

Como se observa en la Tabla 3.1 el tiempo promedio es de 5,64 s sabemos que el largo del vertedero es de 5 m entonces por medio de la Ecuación 3.1 se obtiene la velocidad promedio circundante como se demuestra a continuación.

$$Vp = \frac{Dv}{Tp} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Dónde:

Vp = Velocidad Promedio

Dv =Distancia del Vertedero

Tp =Tiempo Promedio

Entonces:

$$Vp = 0,88 \text{ m/s}$$

Una vez calculada la velocidad se procede a realizar la toma del dato del espejo de agua y multiplicarla por la base para obtener el área del agua circundante en el canal y de esta manera obtener el caudal con la Ecuación 3.2 y 3.3.

$$Q = A * V \quad \text{Ec.(3.2)}$$

$$Qp = (Bv * Ea) * Vp \quad \text{Ec.(3.3)}$$

Dónde:

Qp = Caudal promedio

Bv = Base del vertedero

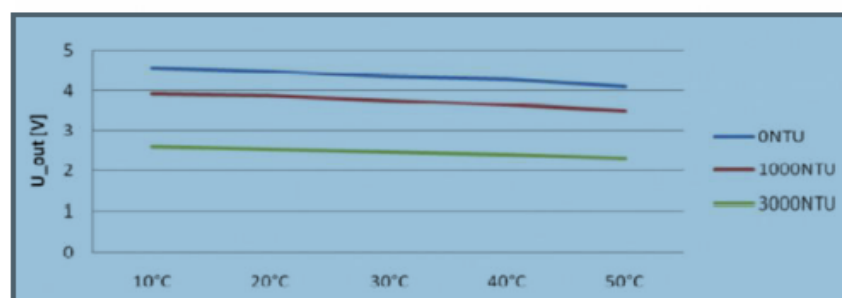
Ea = Espejo de agua

Por medio de la Ecuación 3.3 se logra realizar el cálculo del caudal promedio en la acequia.

3.2.3 Cálculo de Turbidez

La medición de la turbidez consiste en medir los sólidos disueltos en el agua mediante un haz de luz el cual viaja constante a través del agua pura y el cual al contacto con alguna partícula este se distorsiona y dispersa. El tamaño de la partícula, el color y el índice de refracción determinan la intensidad con que la luz es dispersada. Mediante la relación de la variación de tensión de salida y la temperatura que se encuentra en el wikidoc del fabricante se logra obtener tres diferentes soluciones 0,1000 y 3000 NTU. En la Figura 3.6 se visualiza la relación antes mencionada. (Vidarte, 2016)

Figura 3.6. Relación de turbidez



Fuente: (vidarte, 2016)

Se obtiene una relación de variación entre las soluciones de 0 y 3000 NTU la cual es de 1,9 V. Si se considera lineal la variación de voltaje en función del grado de turbidez se puede calcular la variación de NTU en mV por medio de la Ecuación 3.4.

$$\Delta Concentracion_{solidos/mv} = \frac{Ss}{Vv} \quad \text{Ec.(3.4)}$$

Dónde:

S_s = Solución de solidos

V_v = Variación de voltaje

Entonces:

$$\Delta Concentracion_{solidos/mv} = \frac{3000 NTU}{1900 mv} = 1,58 NTU/mv$$

3.2.4 Cálculo del pH

La medición del pH consiste en obtener la variación proporcional de los iones de hidrogeno en una solución mediante un par de electrodos, estos proporcionan un voltaje constante y estable a lo largo del tiempo independiente de las condiciones climáticas externas en las que se encuentre. Mediante la ecuación de Nernst se puede obtener la relación entre el potencial medido E (mV), pH y la temperatura, a continuación se puede observar en la Ecuación 3.5.

$$E_{obs} = E_c + s * \ln(a_{H^+}) \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Donde:

E_{obs} = Potencial observado

E_c = Potencial de referencia

s = Pendiente de la recta

a_{H^+} = Actividad de los protones

La pendiente de la curva “s” es llamado factor de Nernst y representa una característica de la membrana de cristal y es igual a:

$$s = 2,3 \frac{RT}{n} \quad \text{Ec.(3.6)}$$

Dónde:

R = Constante de los gases ideales (8,314 J/K* mol)

T = Temperatura absoluta en K

N = Carga del ion a medir, en este caso $n=1$

Como se puede observar en la Ecuación 3.6 el valor de la pendiente es directamente proporcional a la temperatura, para ello se muestra en la Tabla 3.2 los valores de las pendientes a temperaturas diferentes.

Tabla 3.2. *Relación temperatura y pendiente*

| Temperatura en °C | Pendiente en mV/pH |
|--------------------------|---------------------------|
| <i>10,0</i> | <i>18,5</i> |
| <i>11,0</i> | <i>20,3</i> |
| <i>12,0</i> | <i>24,7</i> |
| <i>13,0</i> | <i>27,2</i> |
| <i>15,0</i> | <i>30,1</i> |

Valores de pendientes según la temperatura. Realizado por: Carlos Sanmartín

3.3 Acondicionamiento de señales electrónicas

Previo a la implementación de la estación hidrométrica es necesario realizar el dimensionamiento de la alimentación para los componentes electrónicos que intervienen en el desarrollo del prototipo hidrométrico tales como sensores, PLC y GPRS.

3.3.1 Dimensionamiento de la alimentación

Para realizar el dimensionamiento de la alimentación es necesario considera los valores de voltajes y corrientes de los módulos y sensores empleados en el prototipo hidrométrico. Una vez se obtenga estos valores se procede a realizar el cálculo de potencia nominal de cada uno por medio de la Ecuación 3.7. Obteniendo la potencia nominal de cada dispositivo se procede a realizar el cálculo de energía consumida por medio de la Ecuación 3.8. Se observa en la Tabla 3.3 los valores de voltaje, corriente, potencia nominal y anergia consumida de cada componente empleado.

$$P = V * I \quad \text{Ec.(3.7)}$$

$$E = P * Tf \quad \text{Ec.(3.8)}$$

Donde:

V = Voltaje de funcionamiento

I = Corriente de consumo

P = Potencia nominal

E = Energía consumida

T_f = Tiempo de funcionamiento

Tabla 3.3 *Dimensionamiento alimentación.*

| Dispositivos | Voltaje de funcionamiento [V] | Corriente de consumo [A] | Potencia Nominal [W] | Tiempo de funcionamiento [h] | Energía consumida [W/h] |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Fermuino | 12 | 0,08 | 0,96 | 24 | 23,04 |
| Arduino | 5 | 0,04 | 0,2 | 24 | 4,8 |
| Módulo GPRS | 5 | 0,02 | 0,1 | 24 | 2,4 |
| Sensor turbidez | 5 | 0,034 | 0,17 | 24 | 4,08 |
| Sensor pH | 12 | 0,04 | 0,48 | 24 | 11,52 |
| Sensor ultrasónico | 5 | 0,04 | 0,2 | 24 | 4,8 |
| Controlador de carga | 12 | 0,001 | 0,012 | 24 | 0,288 |
| | | | | Total | 50,928 |

Procesos para el dimensionamiento de alimentación. Elaborado por: Carlos Sanmartín

Se puede observar en la Tabla 3.3 el valor de la energía consumida total es de 50,928 W/h, este valor puede ser aproximado al real si se divide para la eficiencia de la batería como se observa en la Ecuación 3.9. (Pablo Maldonado, 2018)

$$E = \frac{Ec}{\mu} \quad Ec.(3.9)$$

Donde:

Ec = Energía consumida total

μ = Eficiencia de la batería.

Entonces:

$$Et = 53,60 \text{ W/h}$$

Se obtiene un gasto de energía de 53,60 W/h esto indica que el panel solar y batería debería soportar un gasto mayor al obtenido es recomendado un 25 % más del valor actual. Para saber el número de paneles necesarios se utiliza la Ecuación 3.10.(Pablo Maldonado, 2018)

$$Np = \frac{Et}{Pp * hps * Fg} \quad \text{Ec.(3.10)}$$

Donde:

Np = Número de paneles

Et = Energía total

Pp = Potencia pico panel sola

Hps = Horas pico del sol

Fg = Factor global (0.65-0.9)

Entonces:

$$Np = 0,49$$

Si se toma como factor global 0.9 y consideramos la potencia del panel, entonces tenemos que $Np = 0.49$ (49 %), esto nos dice que con la mitad de la capacidad del panel solar podemos cubrir la energía que el sistema requiere. (Pablo Maldonado, 2018)

3.4 Software y Programación

La programación es realizada en código abierto como el Arduino, para ello se procede con la descripción de los procesos de cada variable previo a la transformación de los datos de voltaje a unidades ingenieriles. El programa consta con un control de error respecto al envío de datos tanto para caudal, turbidez y pH para ello se envía un mensaje a la pantalla del fermuino en caso de que algún sensor este fallando en el envío. A continuación se describe cada proceso mediante un diagrama de flujo para cada variable, tomando en cuenta que estos procesos convergerán en un solo programa, el cual será capaz de transmitir los datos obtenidos al internet. Para la transmisión se utiliza la librería ubidots existente para Arduino, se procede a realizar la comunicación serial entre el Fermuino CP04 y el Arduino Mega mediante la configuración e instalación correspondiente tal como se visualiza en el apartado de implementación.

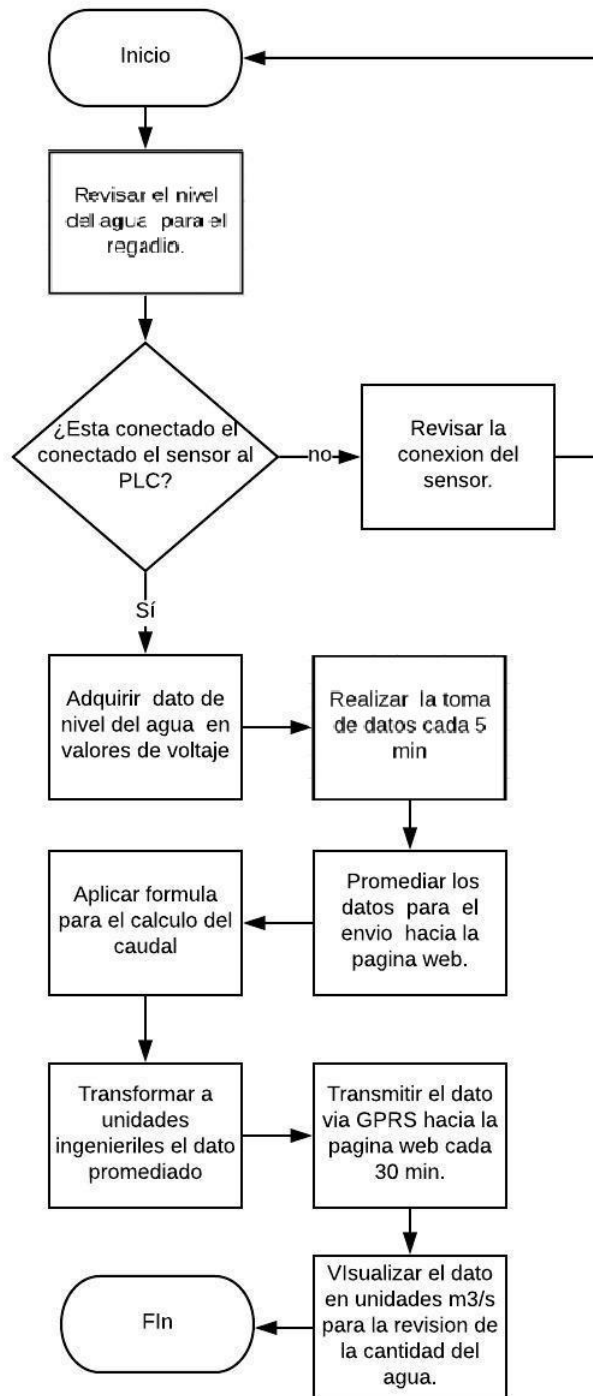
3.4.1 Diagrama de flujo del Caudal

La programación comienza mediante un control de error como es la confirmación de la transmisión de datos, si después de 60 segundos no llegara el módulo a receptar un dato se visualizará un mensaje en la pantalla para revisar la conexión del sensor ultrasónico. En caso contrario el dato es receptado, en valores de voltaje cada 5 minutos durante media hora para después proceder a promediarlo y transformarlo en unidad ingenieriles de m^3/s aplicando la formula mencionado en el apartado de cálculo de caudal (3.2.2).

Una vez obtenido el dato en unidades ingenieriles se procede a transmisión de este hacia la página web vía GPRS donde este podrá ser visualizado, de esta manera culmina la programación y envió de datos del caudal.

En la Figura 3.7 se muestra el diagrama de flujo del caudal donde se muestra todos los procesos y condiciones para la obtención de los datos en unidades ingenieriles.

Figura 3.7 Diagrama de flujo caudal

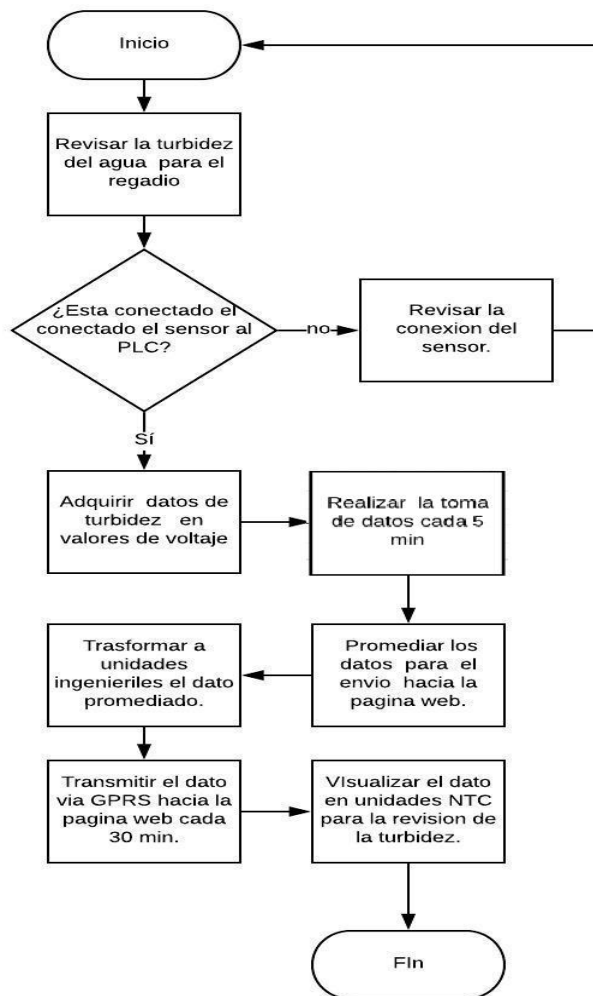


Procesos para la obtención del caudal en unidades ingenieriles. Elaborado por: Carlos Sanmartín

3.4.2 Diagrama de flujo de la turbidez

En la Figura 3.8 se observa el diagrama de flujo de turbidez donde están los procesos y condiciones para la obtención de los datos en unidades ingenieriles.

Figura 3.8 Diagrama de flujo de Turbidez



Procesos para la obtención de la turbidez en unidades ingenieriles.

Elaborado por: Carlos Sanmartín

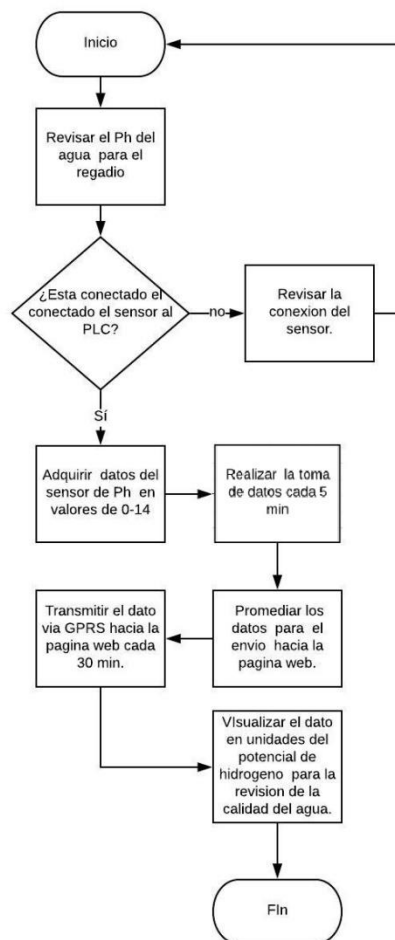
De la misma manera como el proceso del caudal se realiza el control de error en la programación para la confirmación de la transmisión de datos, se adquiere el dato en valores de voltaje y a realizar la toma de estos cada 5 minutos durante media hora para después proceder a promediar el dato y transformarlo en unidad de NTU aplicando la formula mencionado en el apartado de cálculo de caudal (3.2.3).

Una vez obtenido el dato se procede a transmisión de este hacia la página web vía GPRS donde podrá ser visualizado, de esta manera culmina la programación y envío de datos del caudal

3.4.3 Diagrama de flujo pH

En la Figura 3.9 se muestra el diagrama de flujo del pH donde se muestra todos los procesos y condiciones para la obtención de los datos en unidades ingenieriles.

Figura 3.9. Diagrama de flujo pH



Procesos para la obtención de la turbidez en unidades ingenieriles.

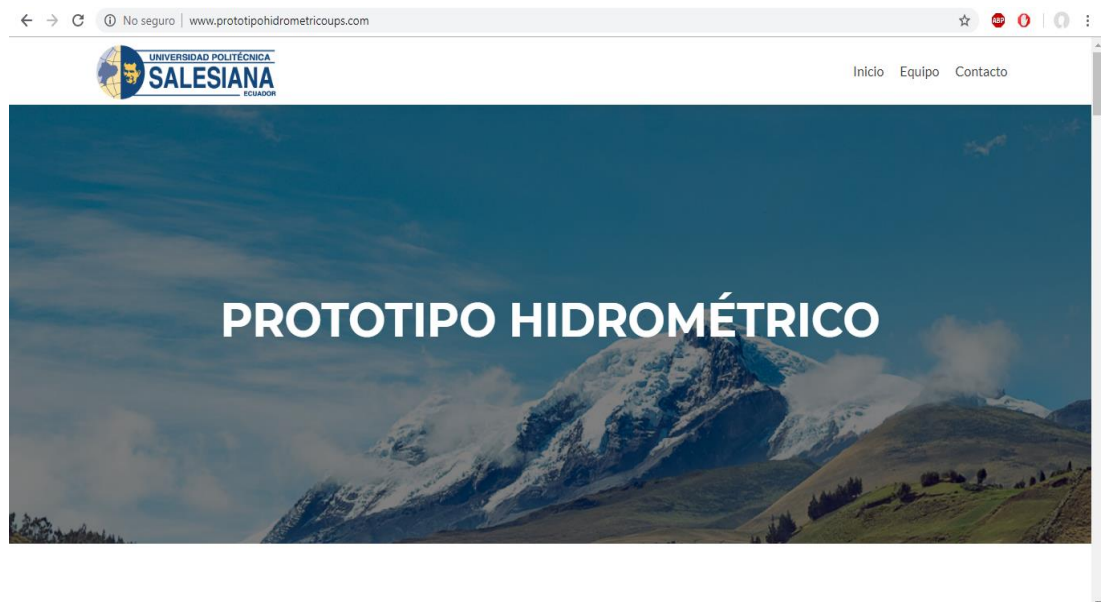
Elaborado por: Carlos Sanmartín

Como se puede observar cada proceso comienza con la confirmación de envío de datos. La diferencia radica en la fórmula que se va a aplicar en este caso se utiliza la mencionada en el apartado 3.2.4.

3.4.4 Pagina WEB

Para la elaboración de la página web se procede a la compra del dominio en la página www.hostingec.com el cual tiene una duración de 1 año y un costo de 40 \$ este debe ser renovado. Una vez comprando el dominio se asigna un nombre, en este caso es www.prototipohidrometricoups.com. Mediante la plataforma Ubidots enlazamos este dominio a la interfaz de recepción de datos y por medio de las herramientas brindadas por wordpress se procede a la realización de la página para la visualización, adquisición y almacenamiento de los datos de caudal, turbidez y pH. A continuación en la Figura 3.10 se puede observar la página elaborada.

Figura3.10 Vista página web



Diseño e implementación de monitoreo Ubidots .Elaborado por: Luis Miguel jima

3.5 Implementación

En este apartado se describe todo el proceso a nivel de hardware que se lleva a cabo para el funcionamiento idóneo del prototipo hidrométrico tomando en consideración los puertos para la alimentación y transferencia de datos. También se describe la elaboración del vertedero rectangular en donde se encuentra ubicado el prototipo hidrométrico.

3.6 Construcción del Vertedero

La construcción del canal fue realizada por parte de la junta parroquial de Pesillo y la parte de diseño por parte de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Cayambe. Se usó hormigón en todo el contorno del canal junto con varillas para la elaboración de las pestañas de sujeción de los tubos PVC. A continuación se observa en la Figura 3.11 la construcción del canal rectangular.

Figura 3.11. *Vista frontal del vertedero rectangular*



Construcción del vertedero tipo rectangular .Elaborado por: Junta de Pesillo
(Guerra Machado, 2016)

En el anexo 1 se puede observar el vertedero terminado junto con la implementación total de la parte de hardware.

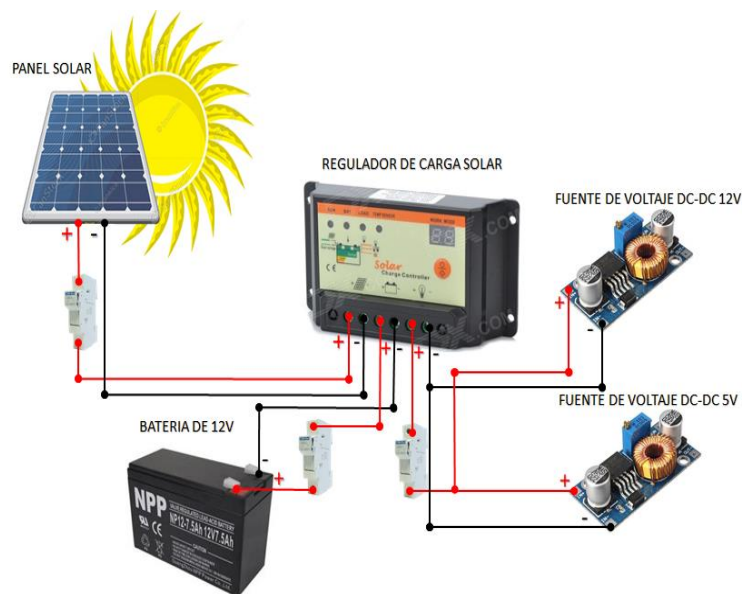
3.7 Conexión del Hardware

A continuación se describe las conexiones realizadas para cada uno de los sensores utilizados en el prototipo hidrométrico tanto para la alimentación del sistema y la comunicación realizada entre el Femuino y el arduino. Se considera el dimensionamiento de la alimentación para el correcta implementación de cada uno de los elementos empleados.

3.7.1 Conexión Alimentación

El sistema de alimentación del prototipo hidrométrico es un sistema de energía renovable como es la solar por lo tanto este consta de los siguientes elementos: panel solar, regulador de carga, baterías y fuentes de voltaje DC-DC a 12 V y 5 V. En la Figura 3.12 se muestra las conexiones realizadas para la instalación del sistema antes mencionado. Las fuentes de 12 V son necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores y módulos utilizados en el prototipo hidrométrico tales como GPRS, PLC y Arduino.

Figura 3.12. *Diagrama de Alimentación*



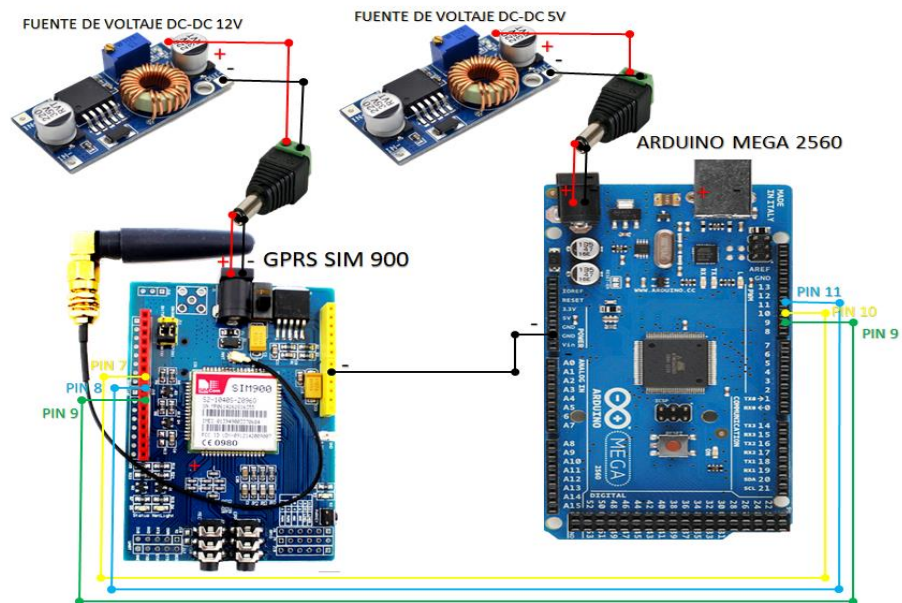
Conexiones de alimentación Rojo: positivo; Negro: Negativo. Realizado por : Luis Jima

3.7.2 Conexión Transmisión de Datos

Una vez realizada la implementación de la alimentación se procede a realizar las conexiones de los módulos, se realiza la conexión del módulo arduino con el módulo GPRS. En la Figura 3.13 se puede observar las conexiones realizadas para la comunicación entre estos módulos, para ello se procede a conectar el TX y RX de cada módulo junto con el enable, en el módulo GPRS correspondiente a los pines 7,8 y 9 en el arduino a los pines 11,10 y 9. Como se mencionó su alimentación no es directa al panel sino a las fuentes reguladoras de 12 V para el módulo GPRS y una fuente regulador de 5 V para el módulo arduino. Para lograr una mejor transmisión de datos

debido a la zona donde es ubicado el prototipo hidrométrico la antena del módulo GPRS es ubicada en el exterior del tablero y remplazada por otra de mejor alcance.

Figura 3.13. *Diagrama de transmisión de datos.*



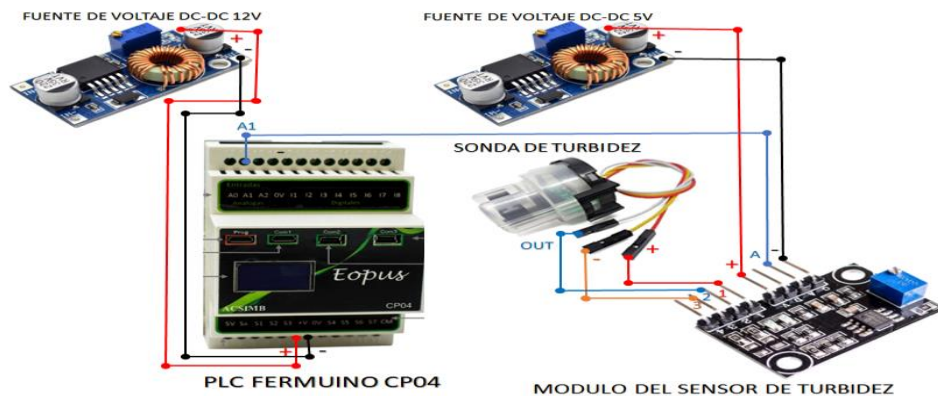
Conexiones de comunicación Amarillo:RX; Verde:TX; Azul:enable Negro:tierra comun.

Realizado por: Luis Jima

3.7.3 Conexión sensor turbidez

Las conexiones son realizadas desde el fermuino hacia el sensor de turbidez, el fermuino consta de tres puertos análogos, en este caso se conecta el fermuino a la fuente reguladora de 12 V y el acondicionador de señal del sensor a una fuente reguladora de 5 V. El pin de transmisión de datos del acondicionador va un puerto análogo del fermuino (A1) como se puede visualizar en la Figura 3.14, mientras tanto las cable de GND, VCC y datos del sensor se acoplan a este acondicionador.

Figura 3.14. *Diagrama de conexión sensor de turbidez*

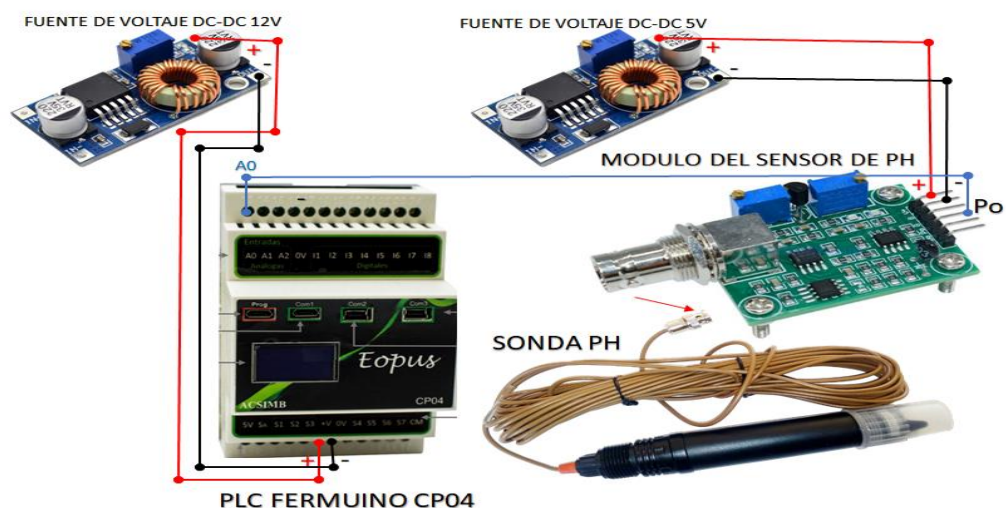


Conexiones del sensor Rojo: positivo; Negro: Negativo; Azul: datos; Realizado por : Luis Jima

3.7.4 Conexión sensor pH

De igual manera las conexiones son realizadas desde el fermuino hacia el sensor de pH, en este caso se conecta el fermuino a la fuente reguladora de 12 V y el acondicionador de señal del sensor de pH a una fuente reguladora de 5 V. El pin de transmisión de datos del acondicionador va un puerto análogo del fermuino (A0) como se puede visualizar en la Figura 3.15, el sensor se acoplan a este acondicionador mediante un puerto especial tipo antena donde están ubicados GND, VCC y la señal del mismo.

Figura 3.15. *Diagrama de conexión sensor de pH.*

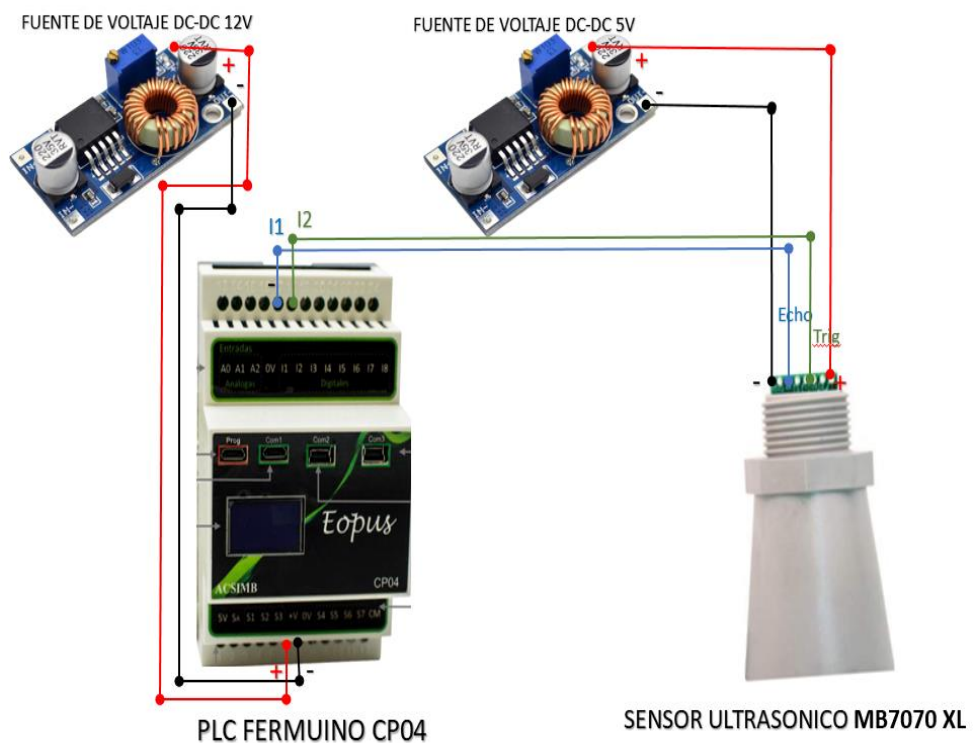


Conexiones Rojo: positivo; Negro: Negativo. Realizado; Azul:datos; Realizado por : Luis Jima

3.7.5 Conexión sensor ultrasónico

Las conexiones son realizadas desde el fermuino hacia el sensor ultrasónico, en este caso se conecta el fermuino a la fuente reguladora de 12 V y sensor ultrasónico a una fuente reguladora de 5 V. Los pines de transmisión de datos van a los puertos digitales I 1 y I 2 del fermuino como se puede visualizar en la Figura 3.16. Este se alimenta directo a la fuente de 5 V al no contar con algún tipo de acondicionador de señal.

Figura 3.16. Diagrama de conexión sensor ultrasónico.



Conexiones Rojo: positivo; Negro: Negativo; Azul y Verde :datos; Realizado por : Luis Jima

CAPITULO 4

VALIDACIÓN DE DATOS

4.1 Método de Validación

EL método de validación de los datos obtenidos en el prototipo hidrométrico es en base a los módulos que la Universidad Politécnica Salesiana Campus Cayambe cuenta en sus laboratorios. Se validará los datos por medio del error promedio que existe entre la toma de datos de los módulos y el prototipo hidrométrico. Además se procederá a realizar las gráficas de los datos obtenidos por el prototipo y los módulos, de esta manera se puede observar la variación existente entre ellos.

4.2 Calibración de sensores

El proyecto fue realizado mediante módulos entre estos tenemos el de pH y turbidez los cuales se calibraron de forma independiente, se facilitó los patrones de calibración por la Universidad Politécnica Salesiana Cayambe. Este procedimiento se detalla a continuación para cada uno de los módulos nombrados.

4.2.1 Módulo pH/C° Meter

Este módulo americano Lamotte tiene un rango de medición de pH 0-14 que es más que suficiente para el presente proyecto y con una resolución 0.01 pH. La calibración para la medición de este módulo esta especificada en la parte trasera del dispositivo. A continuación se explican los pasos a seguir para poder realizar la toma del dato de pH. (Lamotte)

- Paso 1: Lavar la sonda con agua destilada
- Paso2: Sumergir la sonda en un envase pequeño que contenga 3cm de cloruro de potasio o cualquier sustancia que tenga un pH neutro.
- Paso3: Presionar el botón CAL
- Paso4: Presionar Hold/Enter para confirmar el valor
- Paso5: Repetir el procedimiento con un pH de 4.01 y de 10.01 para mayor exactitud.

Una vez realizada la calibración del sensor se procede a la toma de datos los cuales se ven reflejados en la Tabla 4.4 del cálculo del error. Se puede visualizar el modulo en el anexo 4.

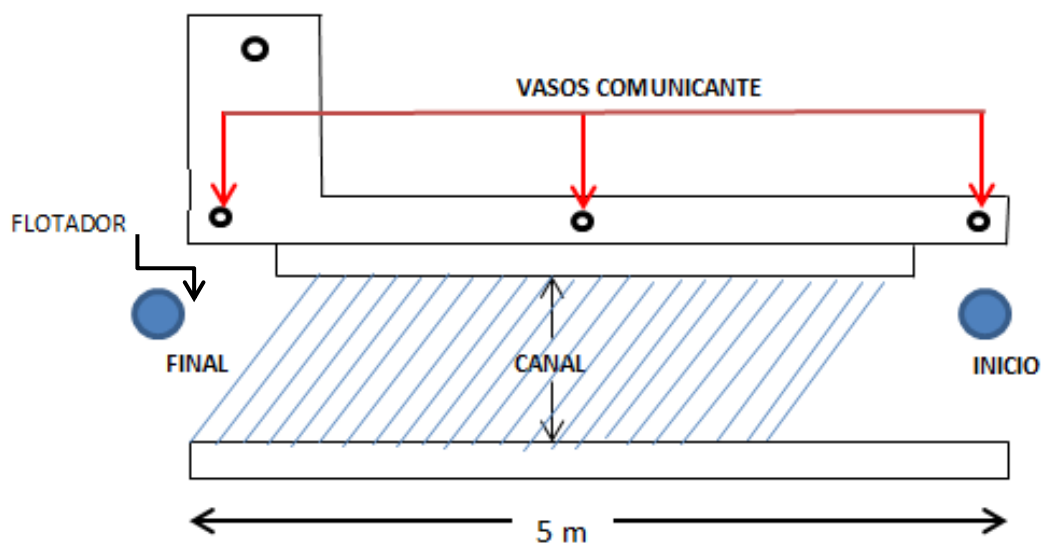
4.2.2 Módulo Turbidímetro HACH 2100Q

El módulo Español de la marca HACH por su facilidad de uso y exactitud en las mediciones de permiten tener una alto grado de precisión. Debido a su sistema RapidCal no requiere calibración previa antes de su uso. Utiliza un sistema óptico de dos detectores el cual permite compensar las fluctuaciones de la luz difusa, permitiendo la toma de datos en condiciones difíciles con una exactitud del $\pm 2\%$.Se puede visualizar el módulo en el apartado de anexo 5. (HATCH)

4.2.3 Método del flotador

Consiste en la toma de tiempos de un objeto el cual circula en el canal desde un punto de origen y uno de final. Este método utiliza un cronometro, un objeto que flote y un flexómetro o cinta métrica. Por medio de este método se logra encontrar el dato de velocidad promedio, permitiendo realizar el cálculo del caudal circundante en la acequia. En la Figura 4.1 se muestra la lógica del método y en la Tabla 3.2 del cálculo de caudal se pueden observar los tiempos obtenidos y el proceso para la obtención del caudal.

Figura4 .1. *Método del flotador.*



Esquema del método del flotador en el canal Realizado por : Carlos Sanmartín

4.2.4 Calibración y ensamblaje final

Una vez se calibrado los módulos de medición de pH, turbidez y obteniendo la velocidad promedio, se procede al ensamblaje de sensores en el canal y a la calibración del prototipo hidrométrico por medio de las formulas propuestas. Los valores obtenidos en los módulos ayudan a minimizar el error en la toma de datos, para luego enviarlos a la página web y monitorear la actividad del canal.

4.3 Pruebas de campo

Después de completar el ensamblaje del prototipo hidrométrico en el vertedero se procede a realizar las pruebas de campo, en donde se analiza cual vaso comunicante es el idóneo para obtener el dato de espejo del agua. Se descarta los vasos comunicantes del inicio del canal debido a que estos dan un espejo de agua variable por las fluctuaciones del agua que se presentan en el inicio del canal. A continuación en la Tabla 4.1 se observa los espejos de agua obtenidos en relación al medio de manera manual el cual llego a 14.5 cm.

Tabla 4.1. *Espejo de agua del canal.*

| | Vaso comunicante final | Vaso comunicante medio | Vaso comunicante inicio |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Espejo de agua [cm] | 14,5 | 16,9 | 16,7 |
| | 14,3 | 16,4 | 15,8 |
| | 14,6 | 16,5 | 17,9 |

Valores de espejo de agua en el canal Realizado por : Carlos Sanmartín

Por otra parte se procede a comprobar la durabilidad de los sensores en el agua, de esta manera ver si estos pueden resistir las condiciones ambientales a las que están sometidas. Se verifica el dimensionamiento de la alimentación para el prototipo hidrométrico para descartar problemas con los módulos y sensores.

Finalmente, se comprueba la transmisión de datos hacia la página y veracidad de estos por medio de los módulos de pH y turbidez.

4.4 Cálculo de error relativo y error promedio

Para el cálculo del error relativo se procederá a comparar el valor real (representa al obtenido en los módulos) con el valor medido (representa al dato del prototipo hidrométrico), el cual se obtendrá por medio de la Ecuación 4.1.

$$Er = \frac{Vr - Vm}{Vr} * 100 = \% \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Dónde:

Er = Error relativo

Vr = Valor real

Vm = Valor medido

A continuación se muestra las tablas de datos obtenidos durante los diez días de funcionamiento de los módulos (Tabla 4.2), y del prototipo hidrométrico (Tabla 4.3)

Tabla 4.2. *Datos de los módulos y caudal por el método del flotador.*

| | Día1 | Día2 | Día3 | Día4 | Día5 | Día6 | Día7 | Día8 | Día9 | Día10 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH/c°Meter | 7,67 | 8,33 | 8,52 | 7,66 | 8,85 | 8,34 | 7,84 | 7,63 | 8,57 | 8,17 |
| Tubímetro Hach [NF] | 32,4 | 32,62 | 35,80 | 29,9 | 26,66 | 28,15 | 27,96 | 28,33 | 28,6 | 29,97 |
| Caudal[l/s] | 134,5 | 162,4 | 217,3 | 175,8 | 200,0 | 187,5 | 230,5 | 187,6 | 194,4 | 137,2 |

Valores de turbidez, pH y caudal Realizado por : Carlos Sanmartín

Tabla 4.3. *Datos obtenidos por el prototipo hidrométrico*

| | Día1 | Día2 | Día3 | Día 4 | Día5 | Día6 | Día7 | Día8 | Día9 | Día10 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sensor pH | 7,25 | 8,25 | 8,38 | 7,34 | 8,77 | 7,92 | 7,77 | 7,49 | 8,36 | 8,04 |
| Sensor Tb [NF] | 32,15 | 32,31 | 33,64 | 28,56 | 25,91 | 27,55 | 27,70 | 26,59 | 28,05 | 28,21 |
| Caudal[l/s] | 129,6 | 157,4 | 210,7 | 173,3 | 196,8 | 182,8 | 226,6 | 181,2 | 186,1 | 133,3 |

Valores de turbidez, pH y caudal Realizado por : Carlos Sanmartín

Se procede a aplicar la Ecuación 4.1 para realizar el cálculo del error promedio por día de cada variable de análisis, teniendo como resultado el siguiente.

$$Er(pH) = 5,47\%$$

En la Tabla 4.4 se visualizan los errores promedio por día de cada sensor.

Tabla 4.4. Datos del error relativo porcentual.

| | Día1 | Día2 | Día3 | Día 4 | Día5 | Día6 | Día7 | Día8 | Día9 | Día10 |
|------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Error Sensor pH | 5,47 | 0,96 | 1,64 | 4,17 | 0,90 | 5,03 | 0,89 | 1,83 | 2,45 | 1,59 |
| Error Sensor Tb | 0,77 | 0,88 | 6,03 | 4,48 | 2,81 | 2,13 | 0,71 | 6,04 | 1,92 | 5,87 |
| Error Caudal | 3,64 | 3,07 | 3,03 | 1,42 | 1,60 | 2,50 | 1,69 | 3,41 | 4,26 | 2,84 |

Errores relativos de los datos obtenidos por cada sensor. Realizado por: Carlos Sanmartín

Una vez obtenido el error relativo se procede a realizar el error promedio de estos para cada uno de los sensores por medio de la Ecuación 4.2.

$$Epr = \frac{\sum_{n=1}^{i \rightarrow \infty} Er}{n} = \% \quad \text{Ec.(4.2)}$$

Dónde:

Epr =Error promedio relativo

Er = Error relativo

n = Número de datos

Entonces:

$$Epr (pH) = \frac{5.47+0.96+1.64+4.17+0.90+5.03+0.89+1.83+2.45+1.59}{10} = 2.49\%$$

$$Epr (Tb) = \frac{0.77+0.88+6.03+4.48+2.81+2.13+0.71+6.04+1.92+5.87}{10} = 3.16\%$$

$$Epr (Q) = \frac{5.47+0.96+1.64+4.17+0.90+5.03+0.89+1.83+2.45+1.59}{10} = 2.74\%$$

Con estos errores promedios relativos podemos saber la diferencia existente entre el valor real y valor medido de cada sensor. Como se observa en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Datos del error promedio relativo porcentual.

| Variable | Error promedio relativo | Diferencia |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|
| pH | 2.49% | 0.21 |
| Turbidez | 3.16% | 1.13 \cong 1Nf |
| Caudal | 2.74% | 5.95 l/s \cong 6 l/s |

Errores promedio relativos por cada sensor. Realizado por: Carlos Sanmartín

Terminado de realizar la implementación y los cálculos de errores el proyecto fue entregado al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica a cargo del Ing. Charles Cachipundo coordinador del mismo, el cual certifico que el proyecto cumple con todos los requisitos solicitados como se puede observar en el anexo 2.

CONCLUSIONES

El sistema hidrométrico implementado en la acequia Pumamaqui del sector Pesillo se encuentra funcionando desde Noviembre del 2018 en forma permanente, obteniendo datos de pH, turbidez y caudal, con un error promedio en sus variables de un 3% aproximadamente, el cual fue avalado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Cayambe.

Existen varios métodos para la medición de las variables de estudio como se puede observar en los apartados 2.4 al 2.6 correspondientes a turbidez, pH y caudal. Debido a las condiciones climáticas los métodos seleccionados para cada una de las variables son los que mejores prestaciones brindaron en cuanto rango, precisión, exactitud y sensibilidad.

Se diseñó el prototipo hidrométrico con características de durabilidad y funcionamiento en condiciones climáticas severas, dado que el sector donde se implementó el prototipo hidrométrico presenta variaciones climáticas bruscas las cuales afectan a la transferencia de datos y a los componentes electrónicos, se puede observar en el anexo 3, cumpliendo con todas las exigencia que se propuso obtener, brindando la seguridad y funcionamiento interrumpido de la misma.

Se determinó que la transmisión de datos por la red GPRS fue aceptable y que se puede utilizar para él envío de múltiples variables a la nube en condiciones incluso adversas comprobando la excelente señal de red CNT que ayudo a la comunicación inalámbrica y obtener la visualización de datos en la página web.

Los datos obtenidos se pueden visualizar de manera remota y sin interrupción alguna en el portal web www.prototipohidrometricoups.com cada 5 minutos como se observa en el anexo 6, mediante la visualización el Ing. Jorge Sandoval valido los datos obtenidos con los módulos de calibración que tiene el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la universidad Politécnica Salesiana de Cayambe, con lo cual tuvo un error de calibración menor e igual al 3% como se muestra en el Tabla 4.5.

RECOMENDACIONES

Con las condiciones ambientales de la acequia de Pumamaqui de la comunidad de Pesillo del cantón Cayambe se recomienda dar mantenimiento a la estación 1 vez por semana debido que se acumula residuos como hojas de árboles, plantas etc. En los sensores, por tal motivo se debe realizar la desactivación manual de los fusibles para que no exista ningún corto dentro de la caja de distribución eléctrica.

Cada año se debe realizar el pago del dominio de la página web para que no se pierda la visualización de datos en el portal web, se facilitara al designado por la Universidad Politécnica Salesiana el nombre de usuario y contraseña de página base para que realice el depósito del dominio que no es superior a los 50 dólares.

Cada mes se recomienda recargar mínimo un dólar al chip de CNT que se proporcionó a la GPRS para que la misma pueda realizar el envío de las variables a la nube, caso contrario la estación quedara sin transmisión de datos las 24 horas.

REFERENCIAS

- ACSIMB. (s.f.). *Eopus*. Recuperado el 13 de 06 de 2018, de ACSIMB:
<http://www.acsimb.com>
- Ariza, F. J. (s.f.). *Tecnologia en Educacion Secundaria*. Recuperado el 06 de Junio de 2018, de
<https://tecnologiainformaticaespirit Santo.files.wordpress.com/2011/11/ley-de-los-vasos-comunicantes.pdf>
- Campoverde Cueva, C. G. (Noviembre de 2028). Desarrollo de uns istema de medicion de caudal energeticamente independiente con transmision de datos en la comunidad de Paquiestancia. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CITeQ. (s.f.). *Centro de investigacion y Tecnologia Quimica*. Recuperado el 17 de 06 de 2018, de
http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf
- Guerra Machado, M. E. (Marzzo de 2016). Diseño e implementacion de un transductor eletrónico para la medicion de flujo a canal abierto en los afluentes de la microcuenca del rio Pisque en el canton Cayambe. Quito, Pichincha, Ecuador.
- HATCH. (s.f.). *HATCH "Be Right"*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de
<https://es.hach.com/2100q-turbidimetro-portatil-epa/product-details?id=24930077421>
- Industrial pH Instrumentation & Electrodes. (s.f.). *Heavy-Duty pH Sensor for Submersible Application*. Recuperado el 20 de enero de 2019, de Omega:
https://cl.omega.com/pptst/PHE735215_735315.html#placeOrder
- Lamotte. (s.f.). *LaMotte "Solving Analytical challenges since 1919"*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de <http://www.lamotte.com/en/soil/instrumentation/5-0034-01.html>
- Martínez, H. (2015). *Modulo didáctico para practicas de laboratorio con controladores logicos programables*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico.
- Matic, N. (2003). *PIC microcontrollers, for beginners too*.
- MaxBotix. (2017). *MaxBotix*. Recuperado el 17 de Junio de 2018, de MaxBotix:
https://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB7070.htm
- Pablo Maldonado, D. J. (2018). *Desarrollo de un trasnductor para la medicion de caudal en un aforador tipo parshall en la acequia pumamaqui dela cuenca del rio pisque*. Quito.

Patricio. (20 de mayo de 2011). *Química y algo más*. Recuperado el 17 de Junio de 2018, de Química y algo más: <https://quimicayalgomas.com/quimica-general/acidos-y-bases-ph-2/>

PuntoFlotante. (s.f.). *Puntoflotante*. Recuperado el 20 de 01 de 2019, de <http://www.puntoflotante.net/MINI-CORE-SIM900-GSM-GPRS-QUAD-BAND.htm>

RobotShop. (s.f.). *RobotSHop*. Recuperado el 06 de JUNIO de 2018, de <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>

Rogel cando, K. M. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Politecnica Salesiana. Quito, Pichincha, Ecuador.

Sanchez, V. A. (2017). Modelacion numerica y experimental de un canal rectangular abierto con diferentes tipos de vertederos. Cuenca, Cuenca, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15227/1/UPS-CT007513.pdf>

Vera Hernandez, L. E. (2000-2001). Analisis de aforo de la Estacion Hidrometrica Obrajillo. *Analisis de aforo de la Estacion Hidrometrica Obrajillo*.

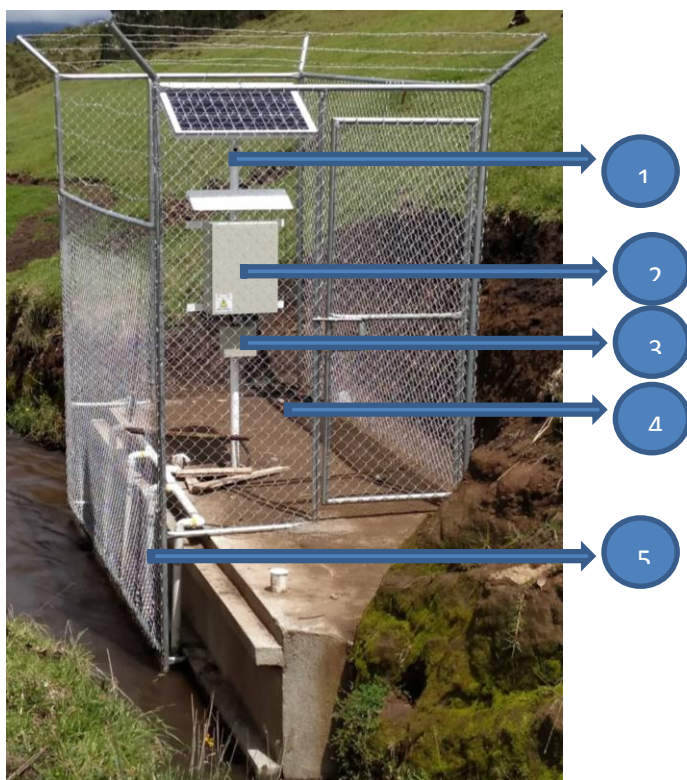
Vidarte, N. E.-K. (2016). *Adaptacion e Implementacion de un sistema autonomo de bajo coste de monitorizacion de calidad del agua en tiempo real*. Madrid.

Viveka Sabaj, L. R.-G. (2014). *Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe*. Montevideo, Montevideo, Uruguay: UNESCO.

ANEXOS

ANEXO 1

COMPONENTES PARA SOPORTE DE LA CAJA DE DISTRIBUCIÓN



| ELEMENTOS | DESCRIPCIÓN |
|-----------|---|
| 1 | Tubo galvanizado de 3 pulgadas |
| 2 | Caja de distribución Eléctrica |
| 3 | Caja metálica para protección de batería |
| 4 | Cerramiento con Maya para protección |
| 5 | Tubos pbc para protección de los sensores |

ANEXO 2

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN



Cayambe, 21 de enero del 2019

ACTA DE ENTREGA - RECEPCION

Por medio de la presente, nosotros Luis Miguel Jima Sanmartín con C.I. 1105020810 y Carlos Andrés Sanmartín Jiménez con C.I. 1719045757 estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, realizamos el trabajo de titulación: *"Desarrollo de un prototipo hidrométrico usando vasos comunicantes en la acequia Pumamaqui de la comunidad de Pesillo"* aprobado con la resolución No: 0357-009-2018-04-12.

En este contexto realizamos la entrega de los siguientes equipos al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana - Centro de Apoyo Cayambe, mismos que se encuentran en el sector Santa Rosa de la comunidad de Pesillo perteneciente a la parroquia Olmedo del cantón Cayambe.

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
|----------|--|
| 1 | Panel Solar de 60W-12v |
| 1 | Controlador de carga de 20Ah |
| 1 | Gabinete 40x60x20 con protección IP65; Módulo Plc eopus, módulo GPRS, fusibles, reguladores de carga de 5V y 12V, borneras. |
| 1 | Sensor ultrasónico |
| 1 | Sensor de pH |
| 1 | Sensor de turbidez |
| 1 | Batería de 12v de 12Ah |



Dichos equipos se encuentran en una etapa de prueba desde el 21 de enero del 2018 para su entrega final.

A continuación, las partes interesadas, firman para dar fe de lo antes mencionado:

Anexo 3

CARTA DE CERTIFICACIÓN



Ofi-011-LABSIG-2018

Cayambe, 21 de enero del 2019

PhD. Ramón Enrique Pérez Pineda
DIRECTOR CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Universidad politécnica Salesiana
Presente

La Universidad Politécnica Salesiana es un referente en la generación de información agroclimática en la cuenca del Río Pisque, por lo cual me permito informar a usted que los señores Luis Miguel Jima Sanmartín con número de cedula 1105020810 y Carlos Andrés Sanmartín Jiménez con número de cedula 1719045757, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica han presentado su tema del proyecto técnico titulado "*Desarrollo de un prototipo hidrométrico usando vasos comunicantes en la acequia Pumamaqui de la comunidad de Pesillo*", el mismo que ha sido aceptado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Centro de Apoyo Cayambe de la Universidad Politécnica Salesiana. Este proyecto técnico será parte de un Proyecto de Investigación denominado *Gestión y Manejo Sustentable de los Sistemas de Riego Comunitarios*. El Laboratorio SIG brindara las facilidades e información necesarias, así como garantiza la implementación de los resultados.

Agradezco su atención.

Atentamente

PhD. Charles Cachipundo
Docente responsable LAB SIG



Recibido
23/01/19
10h55



Luis Miguel Jima Sanmartín
C.I. 1105020810



Carlos Andrés Sanmartín Jiménez
C.I. 1719045757



PhD. Charles Cachipiendo
Docente responsable LAB SIG

MSc. Lenyn Pulamarin
Técnico Laboratorio de SIG



Anexo 4: Modulo PH



Anexo 5: Modulo Tubídímetro.



Anexo 6: Graficas Web.

